

15
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

FLUIDOS DE CONTROL PARA FORMACIONES
DE PRESIONADAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A :

RIGOBERTO PEREZ CANO

DIRECTOR DE TESIS:

QUIM. ROSA DE J. HERNANDEZ ALVAREZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CIUDAD UNIVERSITARIA

MEXICO, D.F. 1994

FACULTAD DE
INGENIERIA



U N A M



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-018

SR. RIGOBERTO PEREZ CANO
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora Quím. Rosa de Jesús Hernández Álvarez, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero petrolero:

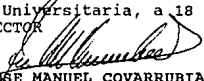
FLUIDOS DE CONTROL PARA FORMACIONES DEPRESIONADAS

- I INTRODUCCION
- ANTECEDENTES HISTORICOS, DEFINICION, CLASIFICACION,
FUNCIONES Y PROPIEDADES DE FLUIDOS NEUMATICOS
- II PERFORACION CON AIRE
- III PERFORACION CON ESPUMA
- IV PERFORACION CON NIEBLA
- V PERFORACION CON LODO AEREADO
- VI ADITIVOS QUIMICOS BASICOS Y EQUIPOS EMPLEADOS EN LA
PERFORACION CON FLUIDOS NEUMATICOS
- VII CALCULOS REQUERIDOS PARA CIRCULAR FLUIDOS NEUMATICOS
CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 18 de abril de 1994
EL DIRECTOR


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JMCS*EGLM*gtg

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

JURADO DE EXAMEN PROFESIONAL

Alumno: : RIGOBERTO PEREZ CANO

No. DE CUENTA : 8777082-5

PRESIDENTE : ING. WALTER FRIEDEBERG MERZBACH

VOCAL : QUIM. ROSA DE JESUS HERNANDEZ ALVAREZ

SECRETARIO : ING. SALVADOR MACIAS HERRERA

1er SUPLENTE : M. I. RAFAEL RODRIGUEZ NIETO

2o SUPLENTE : ING. MANUEL VILLAMAR VIGUERAS

MEXICO, D.F. NOVIEMBRE DE 1994

SI JEHOVA NO EDIFICARE LA CASA,
EN VANO TRABAJAN LOS QUE LA EDIFICAN;
SI JEHOVA NO GUARDARE LA CIUDAD,
EN VANO VELA LA GUARDIA.

SAL. 127:1

A mis padres:
Rubén Darío y Bárbara.
Gracias por enseñarme a amar,
por tantas noches de desvelo y
esperanza.

Los amo.

A mis tres amores: Walky, Ezequiel Andrés y
José Daniel

A tía Carolina: Gracias por su amor de madre

A mis hermanos:

Rubén Darío
Hugo Alberto
Gloria
Carmenza
José Luis
José Gregorio
Olinda

Deseo agradecer de todo corazón a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ingeniería y muy especialmente a los maestros: Rosa de J. Hernández Álvarez, Rafael Rodríguez Nieto e Ignacio Alonso Cárdenas, y a la señora Aurora Montes Jiménez.

A la Iglesia Filadelfia, pastoreada por el Hno. Antonio García Chávez, a Unidos Producciones y a la familia Gámez Montero.

A ustedes, que sin su ayuda desinteresada no hubiese sido posible la elaboración de éste trabajo, todo mi amor y respeto.

Rigoberto.

CONTENIDO

I.	ANTECEDENTES HISTORICOS, DEFINICION, CLASIFICACION, FUNCIONES Y PROPIEDADES DE FLUIDOS NEUMATICOS	pág.
I.1	Antecedentes Históricos	3
I.2	Definición	5
I.3	Clasificación	6
I.4	Funciones y Propiedades de Fluidos Neumáticos	7
II.	PERFORACION CON AIRE	
II.1	El Aire como Fluido de Perforación	15
II.2	Ventajas de la Perforación con Aire	16
II.3	Procedimiento para Perforar con Aire	22
II.4	Problemas que se pueden presentar al Perforar con Aire	22
III.	PERFORACION CON ESPUMAS	
III.1	Definición y Características	32
III.2	Ventajas del uso de las Espumas	33
III.3	Limitaciones del uso de las Espumas	34
III.4	Preparación de la Espuma estable	34
III.5	Análisis Gráfico del Comportamiento de las Espumas	35
IV.	PERFORACION CON NIEBLA	
IV.1	Definición y Características	47
IV.2	Control de la Corrosión	47
IV.3	Cuidados que se deben tener al Perforar con Niebla	48
IV.4	Gastos y Presiones requeridas	49

V.	PERFORACION CON LODO AEREADO	
V.1	Definición y Características	50
V.2	Ventajas de la Perforación con Lodo Aereado	50
V.3	Control de la Corrosión	51
V.4	Cuidado que se debe tener para aplicar este sistema	51
V.5.	Métodos usados en la Perforación con Lodo Aereado	52
VI.	ADITIVOS QUIMICOS BASICOS Y EQUIPOS EMPLEADOS EN LA PERFORACION CON FLUIDOS NEUMATICOS	60
VII.	CALCULOS REQUERIDOS PARA CIRCULAR FLUIDOS NEUMATICOS	
VII.1	Requerimientos de Aire	76
VII.2	Requerimientos de Potencia	79
VII.3	Cálculo de Aire para el Lodo Aereado	80
VII.4	Modelo Matemático para la circulación de Espumas	80
VII.5	Razón de Compresión y número de Etapas	81
VII.6	Cálculo Gráfico de la Presión de Inyección y Gastos de Gas y Líquidos para el uso de Espumas	86
	CONCLUSIONES	98
	BIBLIOGRAFIA	99

I N T R O D U C C I O N

Los fluidos de perforación y terminación cuestan anualmente al país decenas de millones de dólares; pero mucho más importante que este alto costo es el efecto que ejercen sobre la productividad de los pozos en que se utilizan.

La importancia de los sólidos en suspensión en el origen del daño a las formaciones productivas es algo ya universalmente aceptado. Es frecuente que pozos perforados y/o terminados con fluidos con alto contenido de sólidos en suspensión resulten improductivos, siendo necesario invertir importantes cantidades de dinero y tiempo en estimulaciones de resultados muchas veces aleatorios.

Teniendo en cuenta lo anterior, y las formaciones con presiones anormales, cuya presión contenida en el yacimiento sea menor a una presión hidrostática ejercida por una columna de agua salada con densidad de 1.02 g/cc (para formaciones depresionadas), y yacimientos en explotación, el cual entra en un proceso de depresionamiento, puesto que va perdiendo la capacidad de sustentación de la columna del fluido que desaloja, reduciendo la presión a la cual se fractura la formación; fue como se determinó realizar el presente trabajo.

Las depresiones en algunos casos abarcan valores muy críticos, como ejemplo podemos citar los campos Oxicaque y Samaria que a través de registros de producción en marzo de 1983, sufrieron caídas de presión a 229 y 197 Kg/cm², respectivamente (referidos a sus presiones originales que fueron de 442 y 533 Kg/cm²). Asimismo, un pozo que soportaba originalmente densidades de fluidos de control de 1.33 g/cc (Campo Oxicaque) sin pérdidas de fluidos, para esa misma fecha su densidad fue de 0.64 g/cc, lo que impide la utilización y circulación de fluidos de control de uso común.

Al hacer este análisis, es bueno tomar en cuenta, las reservas de petróleo que se tienen y desarrollar métodos para perforar o reparar con éxito aquellos viejos yacimientos dañados. Los métodos de mayor idoneidad conocidos actualmente para evitar daños a la formación son:

a) Perforación y terminación con fluidos aereados en pozos de baja presión de formación.

b) Perforación y terminación con fluidos de bajo contenido o libres de sólidos, en pozos de mediana o alta presión de formación.

c) Perforación y terminación bajo presión (snubbing).

En el primero de los sistemas, algunos autores combinan la perforación con espuma y terminación con petróleo; en este trabajo sólo se hablará de fluidos aereados.

La perforación con espuma como sistema para evitar daños de formaciones productivas, es tal vez el más adecuado para ese fin. Al mismo tiempo evita pérdidas de circulación.

No obstante, su alto costo económico obliga a considerar su uso conjuntamente con el de aire o niebla (estos dos con el fin de evitar pérdidas exclusivamente), para lograr un mejor aprovechamiento de los equipos compresores. Por tal causa es ventajoso considerar en primer lugar la utilización del sistema neumático en la etapa inicial de la perforación, con el fin de evitar pérdidas de circulación, para luego considerar el uso de la espuma para atravesar zonas productivas de baja presión de formación.

I ANTECEDENTES HISTORICOS, DEFINICION, CLASIFICACION, FUNCIONES Y PROPIEDADES DE FLUIDOS NEUMATICOS.

I.1 Antecedentes Históricos.

Durante el período de 1810 a 1870, en diversos países del orbe se perforaron los primeros pozos petroleros. En México en el año 1862, aproximadamente, el Ingeniero de Minas Antonio del Castillo obtuvo con éxito un pozo perforado entre Lacolegiata y el cerro del Tepeyac.

Por su parte en 1863 el sacerdote Manuel Gil descubrió lo que llamó Minas de Petróleo de San Fernando en Tabasco.

Varias décadas después, Spindletop, el pozo fluyente que fue puesto en producción cerca de Beaumont, Texas, empleó el método rotatorio de perforación. En realidad, solamente llegó a confirmar el valor de un método que se había usado extensamente en la zona durante cinco años. Los trabajadores del Spindletop tenían algo de experiencia en la perforación rotatoria y sabían usar el lodo de circulación para perforar las formaciones suaves con tendencia a derrumbarse. Probablemente el pozo Lucas produjo mayor cantidad de lodo que el necesario para proteger las paredes del pozo; es decir, las formaciones naturales de arcillas que se encontraban en el pozo proporcionaban un fluido de perforación aceptable cuando se mezclaba con el agua. Una de la leyendas dice que en algunos lugares, el lodo se obtuvo dejando que el ganado correteara a través de un foso excavado en tierra y llenado con agua. Era posible que el lodo usado en el pozo se mezclaba en un tanque cercano.

En 1914 se discutió sobre los lodos de perforación, esta discusión fue hecha por Haggen y Pallard en Oklahoma, recomendaban en ella que en los equipos de pulseta se mantuviera el agujero lleno de lodo para evitar los reventones, definiendo por primera vez al lodo, diciendo que "... era una mezcla de agua con cualquier arcilla, la cual queda suspendida en el agua por cierto tiempo...".

Stround, en 1921 recomienda que se le debe agregar un material inerte para aumentar la presión hidrostática y

evitar mejor los reventones, utilizando por primera vez barita en lugar de óxido de fierro. Posteriormente se descubrió en 1929 el uso de las bentonitas, también en este año aparecen los reactivos químicos para tratar los lodos, siendo estos alcalinos para incrementar la viscosidad y evitar el asentamiento de los materiales inertes y pesados.

En 1930, se trató de resolver el problema de las lutitas deleznales mediante el uso de lodos a base de silicatos de sodio.

El sistema de perforación con fluido de baja densidad se empezó a utilizar a mediados de los años cincuentas, para perforar yacimientos compactos y fracturados.

Los fluidos de baja densidad usados en primer término fueron: el aire y el gas, conforme se complicaba la perforación, terminación o reparación, mejoraron estos fluidos dando lugar a las espumas y a los sistemas aereados.

El empleo de los fluidos de baja densidad, se ha llevado a la práctica en amplia escala en Labrador (Canadá), California, Utah, Oregón, Wyoming, Colorado, Nuevo México, Centro y noreste de Texas, en México es poca la aplicación que se le ha dado.

En México se efectuó un ensayo con éxito usando aire, esto tuvo lugar en el pozo Xonocostle, localizado a corta distancia de la ciudad de San Luis Potosí.

Las ventajas según se confirmó en el pozo Xonocostle fueron muy notables, destacándose entre ellas las siguientes:

a) Reducción de los tiempos efectivos de perforación de cinco a diez veces con relación a los pozos perforados con lodo convencional.

b) Ahorro en los materiales químicos que se usan para preparar el lodo.

c) Más duración efectiva de las barrenas.

En la zona sur se ha hecho uso de espumas como prueba para desarenar pozos. Los pozos tenían instalación artificial, tres estaban fuera de operación y los cuatro restantes estaban en producción. En algunos de estos pozos se tuvo que suspender la operación debido a fallas mecánicas en el equipo de circulación y en otro a limitaciones del equipo. En los pozos en donde se llevó a término la operación se obtuvieron resultados positivos.

Las ventajas que se observaron en el uso de las espumas en comparación con el fluido de uso convencional fueron:

- a) No se tuvo pérdida de circulación.
- b) La velocidad de limpieza en los pozos desde el inicio de la circulación hasta completar el desarenamiento resultó de 29 m/hr.

I.2 Definición.

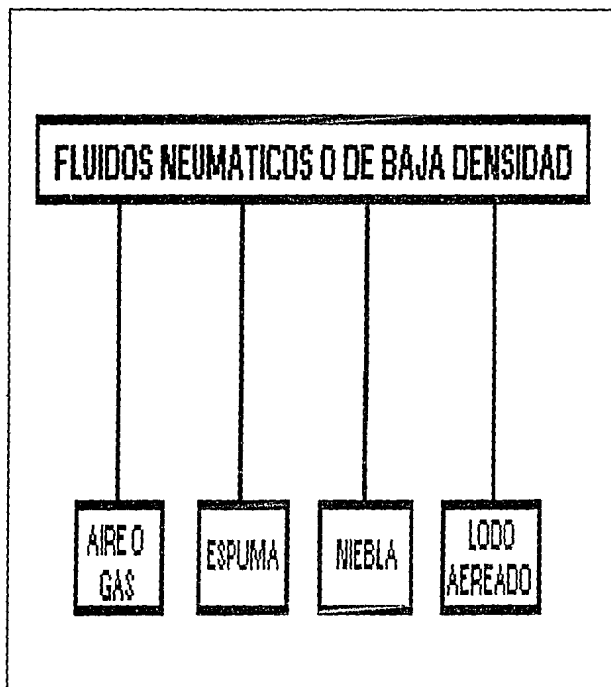
I.2.1 Fluido de Baja Densidad.

Es un sistema usado con una densidad menor que la del agua (1 g/cc), medida a condiciones estándar. Este fluido de control se coloca frente a la formación productora mientras se realizan operaciones tales como: limpieza, estimulación, perforar, disparar, obturar o matar el pozo.

El propósito de estos fluidos usados en terminación y reacondicionamiento de pozos es producir la máxima recuperación de hidrocarburos en el yacimiento.

Estos fluidos se diseñan específicamente para cada formación y de manera que el daño en la formación sea mínimo. Tanto el diseño como el uso pueden tomar bastante tiempo, pero el aumento en la producción crece notablemente.

I.3 Clasificación.



I.4. Funciones y Propiedades de Fluidos Neumáticos.

Las principales funciones de un fluido neumático son:

1. Acarrear los ripios a la superficie.

Durante la circulación, el fluido acarrea cascajos de rocas, arena o partículas de lutitas fuera del pozo a medida que se desplaza hacia arriba por el espacio anular. Para un líquido, la velocidad anular, es generalmente de 30 a 60 m/min, para mantener el pozo limpio. Una circulación de 900 m/min en el espacio anular se considera una velocidad suficiente para limpiar con gas o aire. Los sólidos acarreados por el aire o el gas son soplados como polvo o cascajos finos dentro de un foso de desperdicios al salir del pozo.

2. Limpiar el fondo del pozo.

Se requiere una superficie limpia sobre la cual trabaja la barrena a medida que se perfora, ya sea triturando o cizallando la formación. Si los cascajos o los ripios no son acarreados a medida que se forman, la barrena se atasca, y finalmente la barra maestra no puede girar. El volver a moler los cascajos que ya han sido desprendidos del fondo del pozo es para la barrena un esfuerzo inútil que reduce la energía disponible para perforar. El método normal para limpiar el pozo es a través de la circulación de fluidos con el uso de toberas de chorro en la barrena. Los chorros de fluidos a alta velocidad golpean el fondo del pozo, creando una turbulencia que acarrea los cascajos desde la base de la formación a medida que se forman. En la perforación con aire, la presión y el volumen aplicados para acarrear los ripios a la superficie son normalmente más que suficientes para limpiar el fondo del pozo.

3. Enfriar la barrena y lubricar la barra maestra.

La barrena es forzada contra el fondo del pozo. Por ejemplo el peso sobre la barrena de 8 $\frac{1}{2}$ pulgadas a veces excede 60,000 libras, lo que es más o menos equivalente al peso de un vagón de carga de ferrocarril; una barrena de diámetro más grande puede requerir el doble de esta cautividad. La barrena puede girarse a una velocidad de 50

a 100 revoluciones por minuto. Esta combinación de peso y velocidad genera calor por la fricción en los cojinetes de la barrena y por la abrasión de la formación contra los dientes u hojas. El fluido circulado alrededor de las piezas de la barrena remueve el calor. El aire o gas se expande al salir de las toberas de la barrena y produce un efecto de enfriamiento. Debido a ello, y porque el aire no contiene materiales extraños de gran tamaño, el desgaste de los cojinetes de la barrena es considerablemente menor con este método que con la circulación de lodo.

4. Sustener las paredes del pozo.

Un fluido de perforación debe poseer las características adecuadas para sostener la formación que de otra manera se derrumbaría dentro del pozo. La presión hidrostática creada por el peso de la columna de fluido en el pozo presiona contra la pared revocada sosteniendo las formaciones inconsolidadas o sueltas que pueden caerse o derrumbarse dentro del pozo. Las formaciones de rocas duras tienen muy poca tendencia al derrumbe, y por lo tanto pueden perforarse con aire.

Propiedades de los Fluidos Neumáticos

Las propiedades de los fluidos neumáticos son:

1. Densidad.

La densidad se define como la cantidad de materia contenida en la unidad de volumen; la densidad de un fluido de perforación debe ser controlada para tener suficiente presión hidrostática para prevenir el flujo de fluido de la formación, pero no debe ser tan grande como para generar pérdidas de circulación, para confinar los fluidos en sus respectivas formaciones, la presión generada por la columna de fluido debe ser mayor que la presión de formación. La diferencia entre la presión hidrostática y la presión de formación es llamada presión diferencial.

La densidad de la espuma, por ejemplo, varía entre 0.2 y 0.8 gr/cc, obteniéndose presiones hidrostáticas bajas en el fondo del pozo, disminuyendo o evitando de esta manera

los daños a la formación.

2. Viscosidad.

La viscosidad es un término usado para describir el espesamiento de los fluidos en movimientos. En términos técnicos, la viscosidad es una constante de proporcionalidad entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte. La fuerza aplicada por unidad de área es proporcional a la disminución de la velocidad con la distancia y la constante de proporcionalidad se denomina "viscosidad absoluta".

3. Gelatinosidad.

Cuando un fluido de control, con suficiente viscosidad, ha sido sometido a reposo por determinado tiempo, tiende a formar estructuras más o menos rígidas; pero podrá fluir nuevamente por agitación mecánica. A esta propiedad de los fluidos se le conoce como gelatinosidad y técnicamente como tixotropía.

4. Calidad de la espuma.

La calidad de la espuma es la propiedad que define las características reológicas de la mezcla, y se define como: la relación del volumen de gas al volumen total de la espuma. Para unas condiciones dadas de presión y temperatura la calidad de la espuma puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\text{Cal} = \frac{V_g}{V_l + V_g}$$

Donde:

Cal (P,T) calidad de la espuma a la presión P y a la temperatura T.

Vl (P,T) volumen de líquido a la presión P y a la temperatura T.

Vg (P,T) volumen de gas a la presión P y a la temperatura T.

Debido a que el gas es un fluido compresible, es necesario especificar las condiciones de presión y temperatura a que opera dentro del pozo.

La forma como se mantiene la calidad de la espuma es regular los gastos de inyección de gas y la solución espumante utilizada. Una manera de saber si se está usando la relación adecuada aire - solución espumante es la de observar la espuma que aparece por la descarga, una espuma de buena consistencia permanece estable hasta que abandona la descarga; su degradación ocurre posteriormente.

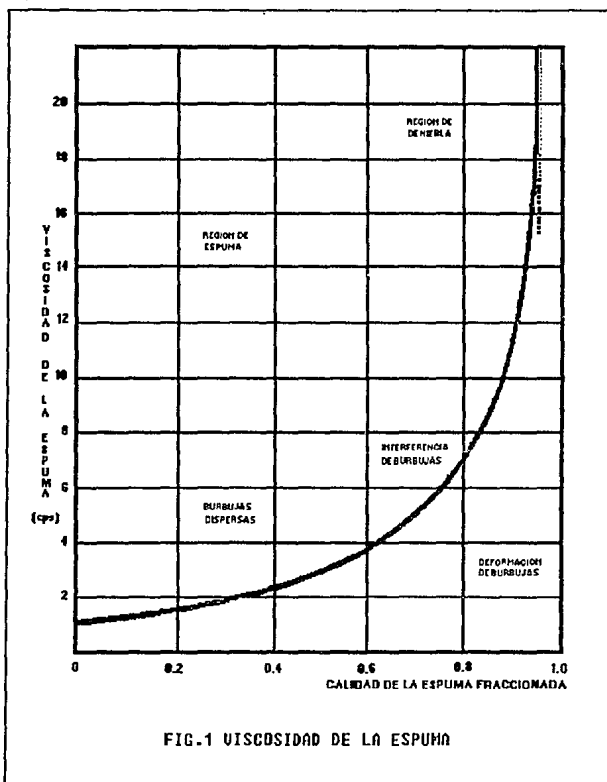
La calidad lograda en espumas estables ha permitido que permanezca en estas condiciones aún cuando se ha encontrado contaminantes tales como: sólidos de la formación, agua salada, aceite crudo, cemento, óxido y sulfuro de hierro, vapor de agua, solventes y ácidos.

La viscosidad obtenida en una espuma es función directa de su calidad, por lo que dependiendo de ésta, la espuma se comporta como un fluido plástico de Bingham o un fluido Newtoniano. Las gráficas de las figuras 1 y 2 presentan resultados experimentales del efecto de la calidad de la espuma sobre la viscosidad y el punto de cedencia. La relación mostrada en la figura 1, se compone de cuatro fases: la primera fase muestra una relación lineal entre la calidad y la viscosidad en un rango de 0.00 a 0.50 de calidad; las burbujas del gas dispersas en la solución son de forma esférica y no se interfieren entre sí. En esta fase la espuma se comporta como un fluido Newtoniano. En la segunda fase la relación presenta una forma ligeramente curva, esto se atribuye a que la deformación de las burbujas y la interferencia entre ellas comienza, dando lugar a la creación de un punto de cedencia en la espuma. Esto ocurre en un rango de calidad de 0.56 a 0.74.

La tercera fase con calidad de 0.74 a 0.96 se presenta cuando las burbujas del gas se deforman totalmente y la viscosidad plástica y el punto de cedencia se incrementan

rápídamente. En la cuarta y última fase con calidad mayores de 0.98 deja de ser espuma y entra en la región de niebla.

Nótese en las figuras 1 y 2 que la viscosidad plástica y el punto de cedencia se aproxima al infinito a una calidad del 100%.



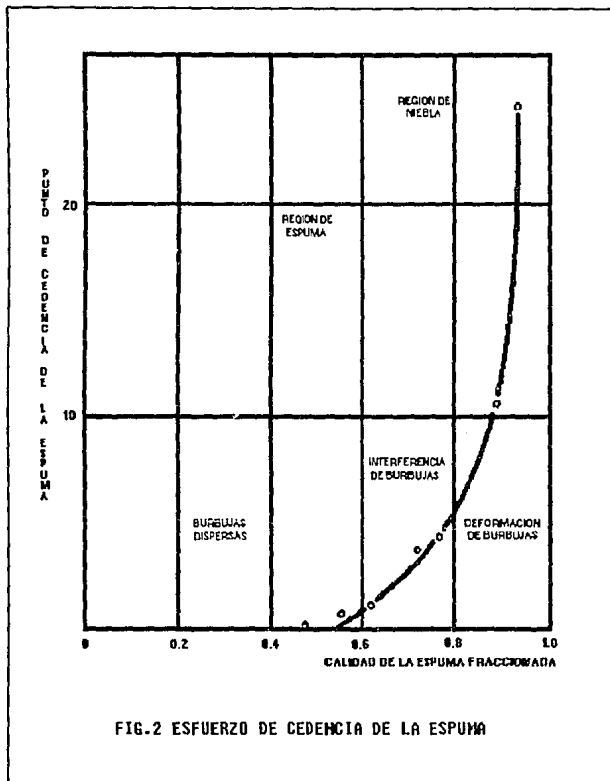


FIG.2 ESFUERZO DE CEDENCIA DE LA ESPUMA

5. Textura.

La textura de la espuma es de igual importancia que la calidad y se refiere a la distribución del tamaño de burbujas y al tamaño mismo de la burbuja creada. Puede ser descrito en términos de una distribución de radio o bien como un radio medio.

La textura depende en mayor grado del tipo y concentración del agente tensoactivo utilizado, aunque también influye el tipo de enpacamiento que se tenga en el generador de espuma. Un aumento o disminución de la concentración del agente tensoactivo conduce a lograr burbujas de mayor o menor tamaño.

El tener una distribución uniforme en el tamaño de burbuja de la espuma es evidencia de que se está elaborando un fluido de las características deseadas y que se está empleando una relación adecuada de los gastos de aire y solución espumante.

II PERFORACION CON AIRE.

II.1 EL Aire como Fluido de Perforación.

Al perforar bajo ciertas condiciones es posible usar aire o gas comprimido como el fluido de circulación para eliminar los cortes de la barrena en vez del lodo utilizado normalmente. Por ejemplo, se utiliza para perforar rocas en las que el control de presión no representa un problema serio.

Con un gasto necesario para originar la velocidad requerida, y suficiente presión de aire o gas los cortes de la barrena son fácilmente arrastrados por el espacio anular y llevados hasta la superficie. En algunas regiones el gas natural se toma de pozos cercanos, se circula en el pozo en operación y se quema cuando sale por la línea de descarga. Cuando no se tiene gas natural a presión disponible, se utilizan compresores de aire para forzarlo hacia abajo por dentro de la tubería de perforación. Tanto el gasto como la presión de entrega requeridos dependen de la profundidad del pozo y del diámetro de la tubería de perforación.

Si el fluido de perforación que se va usar es el aire, se tiene que elaborar un óptimo programa de perforación. La información debe de ser de tipo geológico y de datos obtenidos de pozos vecinos. Cuando el pozo sea exploratorio la información geológica deberá ser lo más confiable.

Los principales puntos con los que debe contar la información son:

- Características litológicas de las formaciones por atravesar.
- Zonas con derrumbes.
- Zonas con pérdidas de circulación.
- Zonas de baja presión.
- Zonas con flujo de agua.
- Correlaciones con pozos vecinos.

Los derrumbes, las zonas con flujo de agua y las formaciones blandas y deleznales constituyen los mayores problemas en este tipo de perforación, reduciendo así mismo la eficiencia de este método.

II.2 Ventajas de la Perforación con Aire.

Si se toma en cuenta el aspecto anterior, este sistema proporciona las siguientes ventajas:

a) Incremento en el ritmo de penetración.

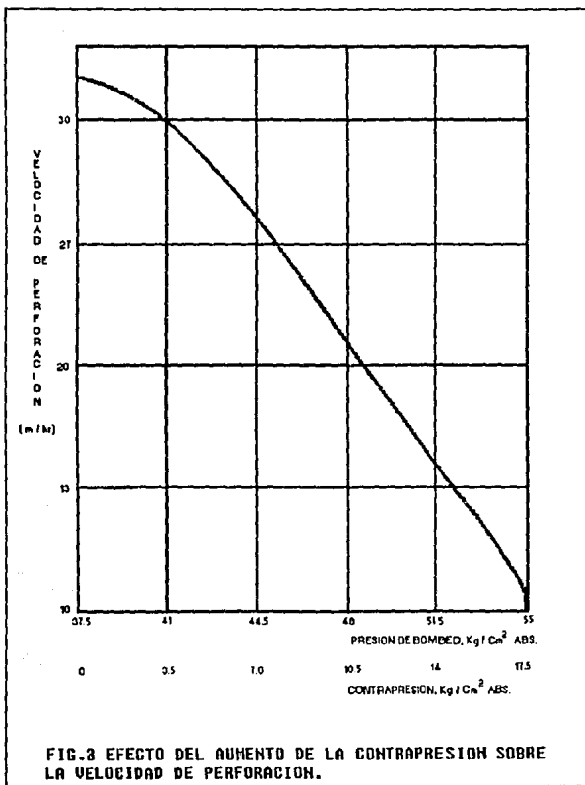
Este incremento es debido a la baja densidad del fluido de control, y por consiguiente a la reducida carga hidrostática ejercida por la columna de aire. La roca se ve relevada de los esfuerzos verticales y axiales dando origen a un efecto de presión inversa, el cual incrementa la perforabilidad de la formación. A causa de este efecto la formación ofrece poca resistencia al contacto de la barrena.

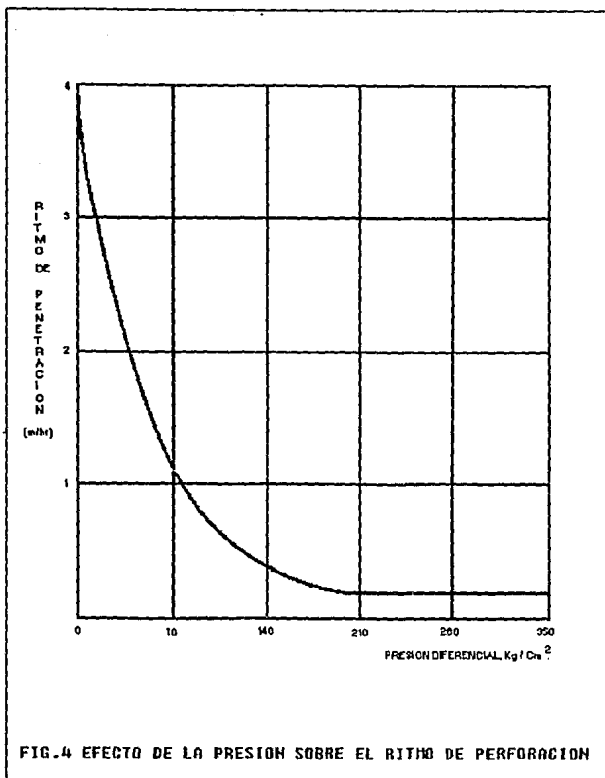
Este fenómeno se ha tratado de explicar en varias ocasiones, pero la causa principal es, seguramente la reducción de la presión hidrostática.

Pruebas de campo (figura 3) muestra el efecto del aumento de la contrapresión sobre la velocidad de perforación. Un aumento de la contrapresión de 0 a 20 Kg/cm² determinó una disminución en la velocidad de penetración de 10 a 25 m/hr. Eso muestra claramente el efecto del aumento de presión en el espacio anular y confirma el efecto de la presión hidrostática sobre la velocidad de perforación. Aparentemente, la presión hidrostática actúa como mecanismo retenedor de la velocidad de remoción de los cortes situados debajo de la barrena. De eso se deduce que las ventajas económicas de la perforación con aire o gas se reducen sustancialmente cuando se tiene que usar espuma y agua.

En la figura 4 está ilustrado el efecto de la presión de una columna de fluido sobre el ritmo de penetración. La diferencial de presión en este ejemplo es la diferencia entre la presión ejercida por la columna de fluido y la presión de poro del fluido, todo ello cuando se perfora con lodo.

En las figuras 5 y 6 se muestra una comparación de los tiempos de perforación utilizando gas y lodo, aire y agua.





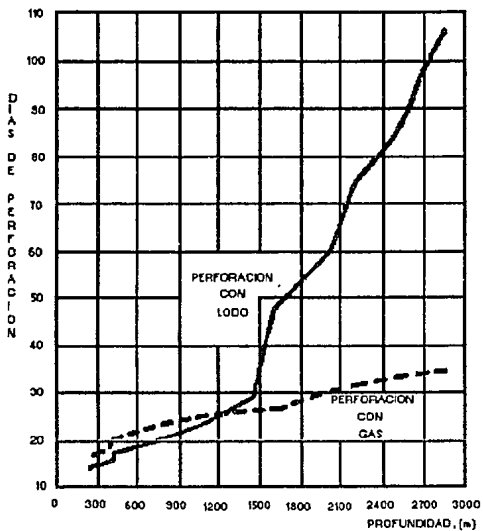


FIG.5 COMPARACION DE LOS TIEMPOS DE PERFORACION UTILIZANDO GAS Y LODO

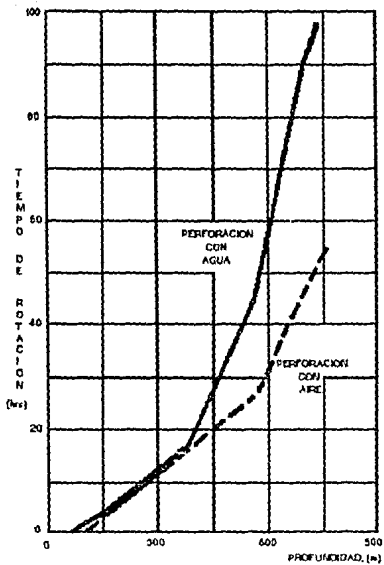


FIG.6 COMPARACION DE LOS TIEMPOS DE PERFORACION UTILIZANDO AGUA Y AIRE.

b) Mayor vida de la barrena.

El uso de aire o gas proporciona un mayor enfriamiento a la barrena, por lo que aumenta la vida efectiva de ésta; y debido a ello son necesarios menos viajes para el cambio de la misma, lo que reduce considerablemente los costos de perforación.

c) Identificación de zonas con contenido de hidrocarburos.

Los recortes que se obtienen en la superficie son bastante pequeños, aún así, estos pueden constituir una buena ayuda en la identificación de zonas con contenido de hidrocarburos, ya que el aire permite que estos aparezcan sin contaminación alguna.

d) Control de pérdidas de circulación.

En ocasiones al perforar ciertas zonas, tales como formaciones no consolidadas o altamente permeables, formaciones fracturadas naturales o inducidas o formaciones cavernosas, pueden presentar pérdidas severas del fluido de circulación, lo cual puede traducirse en excesivos costos y graves problemas de control de peso. Por lo que se recomienda el uso de aire o gas como fluido de control al perforar dichas zonas, por su reducido costo y porque permite el control del pozo.

e) Ideal en la perforación de zonas de baja presión y en la obtención de núcleos.

Debido a su reducida carga hidrostática se puede perforar zonas de baja presión, con lo que se evita daño a la formación. Se puede utilizar también este sistema para evitar mayores daños a la formación cuando esta ya ha sufrido un daño menor por el uso de fluido convencionales.

Cuando en la perforación de pozos es necesaria la extracción de núcleos, es muy ventajoso efectuar la operación utilizando aire como fluido de control ya que se obtienen núcleos sin contaminación.

II.3 Procedimiento para Perforar con Aire.

El procedimiento normal es el siguiente:

Lo primero que se hace es instalar el equipo, tal como si se fuese a usar lodo como medio de circulación. A continuación se instalan compresores o una conexión aun abastecimiento de agua a alta presión (figura 7). Seguido se conectan los preventores de reventones (figura 8) y un cabezal giratorio, tomándose precauciones de seguridad para eliminar el peligro de incendio. El cabezal giratorio o preventor de reventones rotatorio (figura 9) forma un sello alrededor del cuadrante para impedir la fuga de aire o de gas durante la perforación, permitiendo que la barra maestra gire al mismo tiempo. Un tubo de escape, o cañería de desperdicios, equivalente a la línea de descarga en la circulación del lodo, se conecta debajo del cabezal giratorio para enviar el aire o el gas a un lugar que se encuentra a una distancia segura de la cabría (figura 10). Si se usa gas se coloca una flama piloto en el extremo de la línea de escape para quemar el gas a medida que sale.

II.4 Problemas que se pueden presentar al Perforar con Aire.

Al perforar con aire, al igual que otro fluido de perforación se debe tener una continua y adecuada supervisión para prevenir cualquier problema.

Los problemas que con mayor frecuencia se presentan son:

1. Insuficiente volumen de aire para la limpieza del pozo.

A medida que el pozo se profundiza, se requiere aumentar el gasto de aire para mantener la velocidad necesaria para acarrear los cortes a la superficie. La capacidad de levantamiento del aire es proporcional a la densidad y al cuadrado de la velocidad del aire en el espacio anular, de esta manera, como la densidad se incrementa con la profundidad y con el peso de los sólidos perforados; la presión y el gasto en la superficie se

deberán de incrementar para mantener la velocidad necesaria del aire en el espacio anular.

Un método para conocer si se está utilizando el gasto de aire adecuado para limpiar el pozo es el siguiente: detener la perforación, seguir circulando aire y tomar el tiempo que tardan en llegar a la superficie los últimos cortes. El tiempo requerido para limpiar el pozo no debe exceder en más de un minuto por cada 300 metros de profundidad, cuando se requiere de más tiempo para limpiar el pozo es indicación de que no se está utilizando el gasto de aire necesario o existe un agujero agrandado.

2. Ensanchamiento del pozo.

Este constituye un serio problema en la perforación con aire. El deslave y ensanchamiento de la sección transversal del pozo puede deberse principalmente al efecto erosivo de la corriente de aire sobre las paredes del pozo, ocasionado por las altas velocidades del aire en circulación. Otra causa puede ser la baja presión hidrostática de la columna que provoca gran presión diferencial dentro del pozo.

Para evitar el problema de erosión se debe utilizar la velocidad mínima del aire en el espacio anular. De aquí se desprende la necesidad de calcular con precisión los gastos de aire necesarios para mantener al mínimo la velocidad en el espacio anular.

Las partes ensanchadas puede ocasionar que los recortes, producto de la perforación, se acumulen en esos espacios, observándose en la superficie una interrupción en la salida de estos recortes. Estas interrupciones pueden atribuirse erróneamente a entrada de agua al pozo, inyectando agentes espumantes en la corriente de aire, cuando estos no son necesarios, aumentando los requerimientos de aire y disminuyendo la velocidad de penetración.

3. Entrada de agua.

En las operaciones de perforación con aire ,

este punto constituye el problema más severo.

Cuando se perforan formaciones con saturación baja en agua, las operaciones se continúan ya que con solo incrementar el gasto de aire se logra una mayor velocidad del mismo en el espacio anular y con ello una limpieza adecuada del pozo, y sin dejar de vigilar la presión en el manómetro del múltiple de piso por si se llegasen a aglutinar recortes alrededor de la sarta de perforación.

Cuando la presencia de agua es mayor, se requiere de la inyección de agentes espumantes a la corriente de aire. Los agentes viajan suspendidos en la corriente de aire hasta el fondo del pozo, y al llegar a la barrena, debido a la gran turbulencia que existe en esa zona y a la presencia de agua se forma una espuma (aire, agua y agente espumante) con la que se logra remover el agua del pozo.

Los problemas derivados de la entrada de agua se pueden resumir así:

a) La entrada de agua incrementa los requerimientos de velocidad del aire en el espacio anular, y por tanto el gasto de aire por lo que el equipo deberá tener la capacidad correspondiente.

b) La existencia de lutitas en formaciones superiores junto con la presencia de agua en la corriente de aire pueden ocasionar derrumbes dando lugar a problemas de pegaduras de tuberías.

c) El agua puede ocasionar el aglutinamiento de los recortes alrededor de la tubería de perforación, lo que puede derivar en problemas más serios como: pegadura, fuego o explosiones en el pozo.

d) El agua trae consigo la corrosión en la tubería de perforación, por lo que se acostumbra utilizar inhibidores de corrosión. En ocasiones se inyecta agua saturada con cal para proteger la tubería contra la oxidación.

Otra solución para los problemas de entrada de agua, es el empleo de materiales obturantes; pero al hacer uso de

ellos se tiene que evaluar muy bien la zona aportadora de agua, tener habilidad para aplicarlos en la zona deseada y manejar altas presiones para desplazar los materiales. Además de todo esto, se debe cambiar el sistema de circulación de aire a lodo.

4. Daños a la tubería de perforación.

El mayor daño que se ocasiona a la tubería es el debido al efecto erosivo de los cortes que viajan en la corriente de aire, y se presenta principalmente a la altura de las juntas de la tubería de perforación, el desgaste ocurre con el choque continuo de los cortes con esta sección. Este efecto puede disminuirse haciendo que sean recubiertas exteriormente con una banda dura de metal y una capa de pequeños perdigones de aleación de acero o de carburo de tungsteno.

Por otra parte, cuando se ocasionan daños a los tubos lastrabarrenas se pueden presentar problemas de desviación debido al cambio en las características de estabilización, por lo que se deben inspeccionar cada vez que se saque la sarta de perforación.

5. Pegaduras de tuberías.

Algunas causas de que la tubería se pegue son: aglutinamiento de los cortes alrededor de la tubería (cuando se perforan formaciones húmedas), derrumbes de formaciones deleznable, desviaciones fuertes, como "patas de perro" u "ojo de llave".

Si la tubería se ha atorado se debe evitar que se pegue, jalando y empujando suavemente con movimientos alternos, además de circular una buena cantidad de aire a fin de liberarla. En este sistema no existe un líquido que amortigue la caída de la tubería, por lo que debe tenerse cuidado al liberarla para evitar movimientos bruscos.

6. Fuego y explosiones dentro del pozo.

Al usar aire para perforar zonas con contenido de gas, las dos primeras de las tres condiciones necesarias para

provocar un incendio (combustible, oxígeno e ignición) están presentes. De tal manera que la principal preocupación es la de prevenir la ignición. Las causas por las cuales ocurre la ignición son tres:

a) La acumulación y aglutinamiento de recortes húmedos alrededor de la tubería (sellan el espacio anular entre la pared del pozo y la tubería de perforación).

b) Chispas dentro del pozo.

c) Pequeños agujeros en la tubería de perforación.

La acumulación y aglutinamiento de cortes húmedos alrededor de la tubería constituyen la causa principal de ignición ocasionando fuego y explosiones dentro del pozo. Estos aglutinamientos ocasionados por la presencia de cortes húmedos sellan el espacio anular y restringen el paso del aire, dando lugar a dos situaciones que ocasionan la ignición:

La formación de una mezcla gas - aire, que dentro de ciertos rangos puede ser explosiva. El rango explosivo se considera cuando el gas está en proporción de 5 a 15% con respecto al volumen de aire.

Debido al sellamiento del espacio anular, se presentará un incremento gradual de la presión, comprimiendo la mezcla gas - aire hasta que ésta alcance su temperatura de ignición, ocurriendo entonces la explosión.

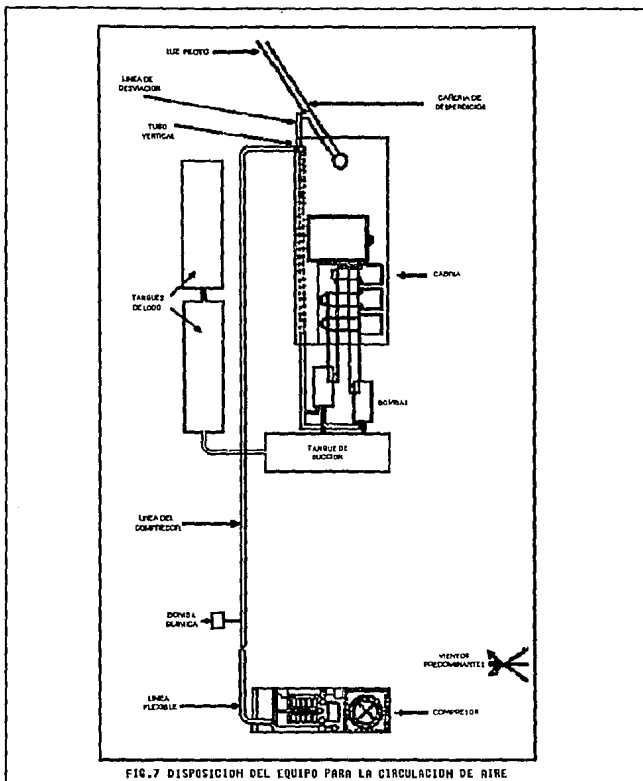
Las chispas se originan cuando las partes metálicas de la sarta de perforación (barrenas, tubos lastrarbarrenas, juntas de perforación, etc) chocan contra las formaciones duras y abrasivas.

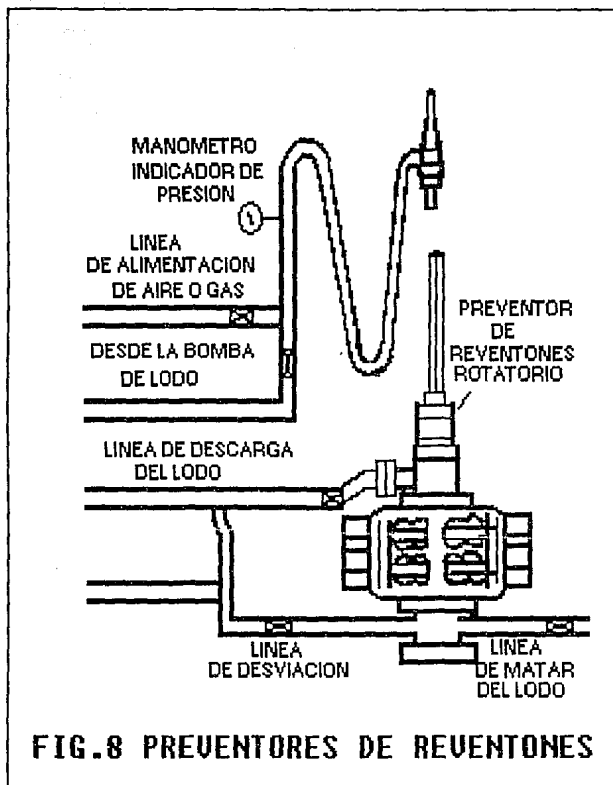
En cuanto a la tercera causa, se ha demostrado que cuando el aire fluye a una presión de 15 a 30 Kg/cm² a través de una pequeña perforación, la fricción ocasionada por esta reducción crea suficiente calor como para provocar la ignición de la mezcla gas - aire.

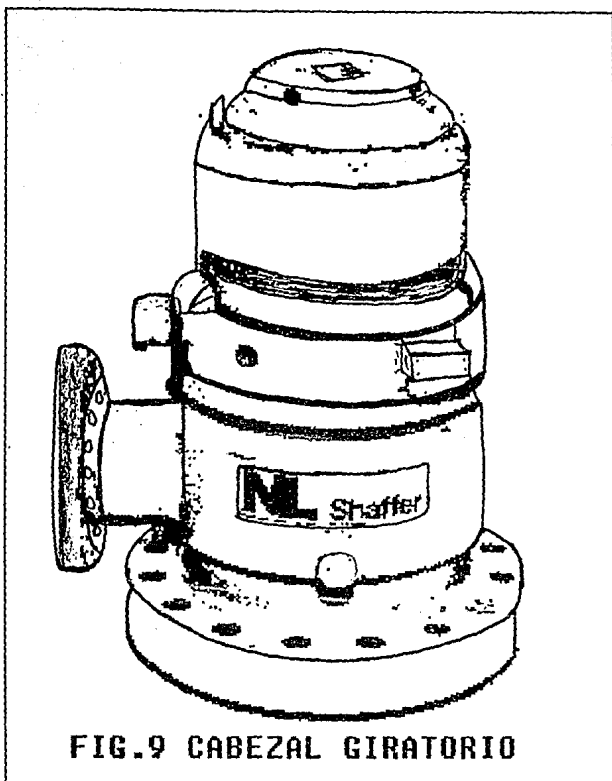
Una medida para prevenir los problemas de fuego y

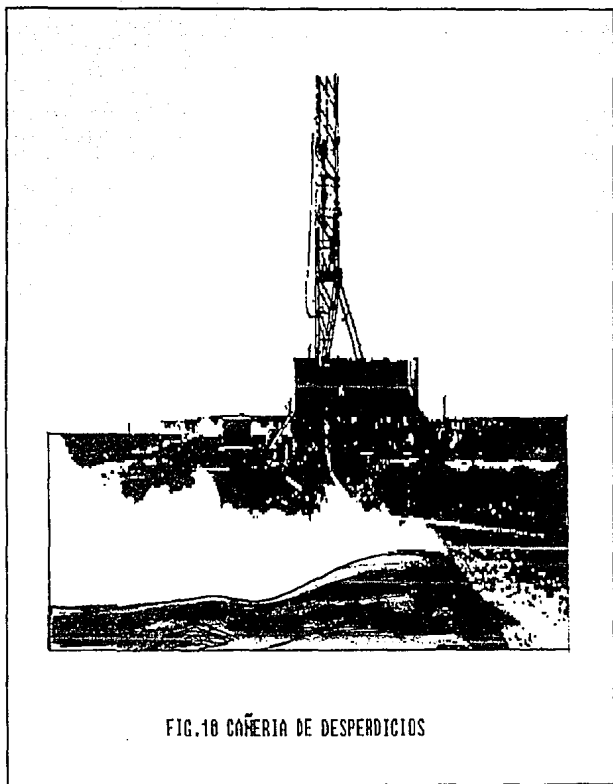
explosión dentro del pozo es la inyección de nitrógeno a la corriente de aire para reducir el volumen de oxígeno presente. La concentración recomendada varía de un 3 al 5% del volumen de aire.

Otro método efectivo para prevenir este tipo de problemas es la perforación con niebla o espuma, o también perforar zonas gasógenas con gas natural, aunque también es costoso pero es más efectivo para evitar daños a la formación.









III PERFORACION CON ESPUMA.

III.1 Definición y Características.

La espuma estable es una de las variantes de la perforación con aire. Fue diseñada originalmente para la perforación de formaciones poco consolidadas, las cuales ocasionaban problemas de derrumbes en la perforación con aire y pérdidas de circulación cuando se perforaba con lodo. Posteriormente su aplicación en los problemas de entrada de agua y zonas con contenido de gas dió buenos resultados.

Este fluido se prepara en la superficie y consiste en una mezcla de agua dulce, un agente tensoactivo, aditivos apropiados, como son: estabilizadores de espumas, materiales que forman enjarre residual, reductores de fricción, inhibidores de corrosión, entre otros y un gas comprimido. Para la fase gaseosa se ha utilizado preferentemente aire, gas natural y nitrógeno; de ello se prefiere el gas natural debido a su disponibilidad en los campos petrolíferos, el aire se usa sólo cuando las espumas se manejan a presiones menores de 24.5 Kg/cm^2 a presiones mayores se corre el riesgo de formar mezclas autoexplosivas con los fluidos de la formación. El nitrógeno ofrece mayor seguridad en trabajos de fracturamiento y debido a su mayor costo y disponibilidad se utiliza solo en contadas ocasiones.

Los requerimientos de aire son muy bajos comparados con otros métodos de perforación con aire, esto se debe a que la espuma es capaz de levantar los cortes a bajas velocidades en el espacio anular (30 a 90 m/min), por lo que se requiere menor capacidad de compresión y por lo tanto menor gasto de inyección de aire.

La densidad de la espuma estable varía entre 0.20 a 0.80 gr/cc, tiene viscosidad de 0.6 a 0.9 cp., y gran capacidad de acarreo de cortes. Las presiones logradas en el fondo del pozo con este tipo de fluido pueden variar de 1 a 4 kg/cm^2 para profundidades de 300 a 1000 metros. Estas bajas presiones de circulación disminuyen o eliminan en el mejor de los casos los daños a la formación y las pérdidas de circulación.

El sistema de circulación es de tipo abierto, por lo que la espuma que sale del pozo no puede volver a circularse y se desecha en una presa de desperdicio.

III.2 Ventajas del uso de las Espumas.

El uso adecuado de este sistema proporciona las siguientes ventajas:

a) Presión hidrostática reducida.

A causa de que su densidad es baja, la espuma estable ejerce en el fondo del pozo una presión hidrostática mucho menor que la causada por un lodo normal de perforación, disminuyen los daños que este causa cuando se atraviesan zonas de alta porosidad y permeabilidad o con contenido de fluido a baja presión.

b) Capacidad de acarreo.

La espuma es un fluido con alta viscosidad y proporciona gran capacidad de levantamiento, de 7 a 8 veces mayor que con los fluidos convencionales. Puede acarrear recortes hasta de 5 centímetros de diámetro.

c) Mayor ritmo de penetración.

Por su baja densidad el ritmo de penetración aumenta, sobre todo en formaciones duras. En experiencias obtenidas de campo se ha registrado ritmo de perforación hasta dos veces mayores que los obtenidos con el uso de fluido convencional.

d) Permite perforar pozos de mayor diámetro.

Permite trabajar en pozos de diámetro grande, donde la perforación con aire requiere de gastos de inyección muy grande o donde la perforación con lodo requiere de gran capacidad de bombeo.

- e) Disminuye los riesgos de incendio.

Durante la perforación de zonas con contenido de gas, la espuma estable atrapa este fluido en forma de pequeñas y aisladas burbujas evitando de esta manera la ignición de la mezcla gas - aire.

III.3 Limitaciones del uso de las Espumas.

a) Debido a la presión hidrostática baja que ejerce la espuma, no se puede usar en áreas donde se desconozcan las presiones de formación, ya que existe el riesgo de descontrol del pozo en caso de perforar una zona de presión mayor que la ejercida por la columna de espuma.

b) La eficiencia de la espuma puede verse disminuida con flujo de agua salada o de hidrocarburos ya que se reduce la efectividad de la sustancia tensoactiva.

c) La inversión inicial del equipo adicional es alta.

d) No es posible tomar registros que requieran que el pozo se encuentre lleno de fluido.

III.4 Preparación de la Espuma estable.

La espuma es una mezcla compuesta de un líquido y un gas en dispersión, y su preparación en el campo es la siguiente: se dispone de dos de los tanques de agua dulce limpia con capacidad de 1.5 m³ cada uno, en los cuales se vierte un determinado porcentaje de surfactante, quedando así formada la solución espumante, la que se inyecta al generador de espuma. Al mismo tiempo se hace llegar aire del compresor al generador de espuma, en donde debido a la turbulencia del flujo y a las características del generador se forma la espuma.

Los gastos de inyección de la solución espumante, los gastos de aire y la concentración del agente tensoactivo dependen sobre todo: del diámetro y profundidad del pozo, ritmo de perforación, tamaño del espacio anular, tipo de formación y magnitud de flujos de agua si este problema se presenta.

III.5 Análisis Gráfico del Comportamiento de las Espumas. ■

Con base a la experiencia, el Instituto Mexicano del Petróleo preparó un programa de cómputo que permite predecir el comportamiento de las espumas al fluir por tuberías verticales. Con las gráficas que se desarrollaron es posible calcular la presión de inyección y los gastos de gas y líquidos requeridos para generar las presiones de fondo necesarias (ver capítulo VII).

Procesando el programa de cómputo antes mencionado, se diseñaron las gráficas de las figuras 11 a la 20 a fin de analizar el comportamiento de las espumas para diámetros convencionales. Los datos que se utilizan son:

Tubería de producción: 2 ⁷/₈ pg.

Diámetro del agujero (barrena): 6 ⁵/₈ pg.

Gastos de líquido: 10, 20, 30, 40 y 50 gal/min.

Gastos de gas: 100, 200, 300, 400 y 500 pies³/min.

Profundidades: 2000, 4000, 6000, 8000, 10000 pies.

Velocidad de perforación: 0 pies/min.

En las figuras 11 a la 15 se observa la variación de la presión de fondo para gastos de líquido de 10 a 50 gal/min., en función de los gastos de gas y las profundidades. Para gastos de líquidos de 20 a 50 gal/min., la presión se abate rápidamente al incrementar el gasto de gas, obteniéndose valores mínimo en el rango de 100 a 200 pies³/min. Los valores mínimos de presión de fondo para las profundidades dadas son del orden de 50% de las que proporcionarían una columna de agua.

A mayores gastos de gas, las presiones de fondo se incrementan. Esto se debe a la alteración de la calidad de la espuma, reflejando su efecto en las pérdidas por fricción. Este efecto es más acentuado en pozos someros.

Es pues factible incrementar la presión de fondo, ya sea aumentando el gasto de gas o de líquido, siendo más marcado el efecto de este último. Sin embargo, el mayor gasto de gas tiene la ventaja de incrementar la calidad de la espuma (figuras 1 y 2). Por otra parte, con la velocidad de perforación las presiones de fondo aumentan debido al

incremento de la densidad de la espuma ocasionado por los sólidos.

En la figura 16 se observa que la presión de inyección aumenta con el gasto de gas, así como con la profundidad.

Para un gasto de líquido de 20 gal/min (figura 17) se observa el mismo comportamiento en la presión de inyección, sólo que con menor variación por efecto de la profundidad. Este comportamiento continúa al incrementar el gasto del líquido (figuras 18 a la 20).

De las figuras 16 a la 20 se deduce que para un gasto de gas constante, las presiones de inyección varían inversamente con los gastos de líquido. Esto se atribuye al aumento en la densidad de la espuma.

■ Ver referencia 3.

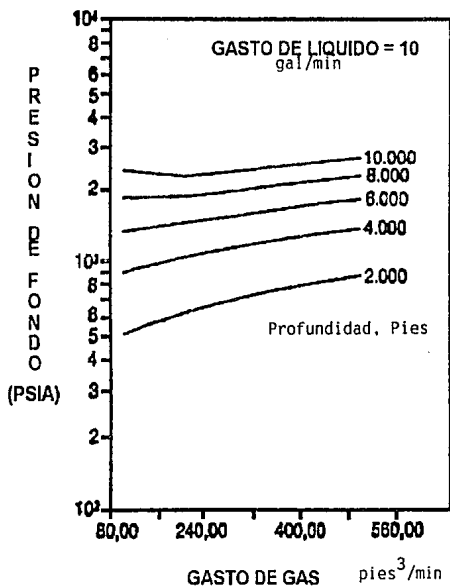
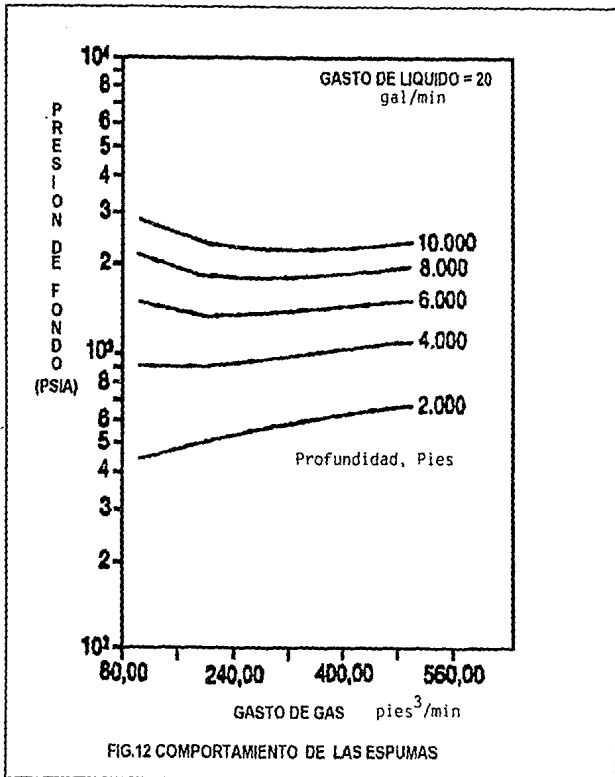


FIG.11 COMPORTAMIENTO DE LAS ESPUMAS



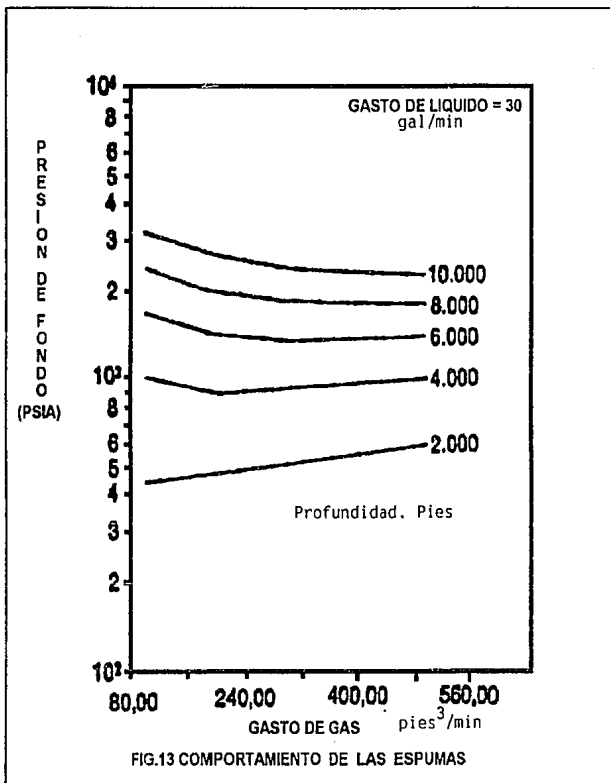


FIG.13 COMPORTAMIENTO DE LAS ESPUMAS

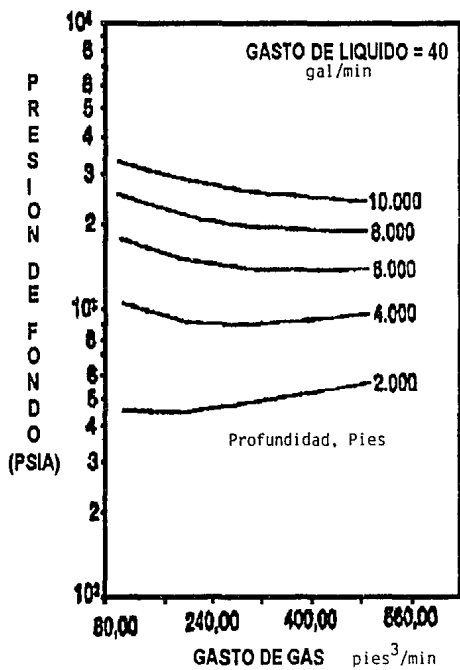
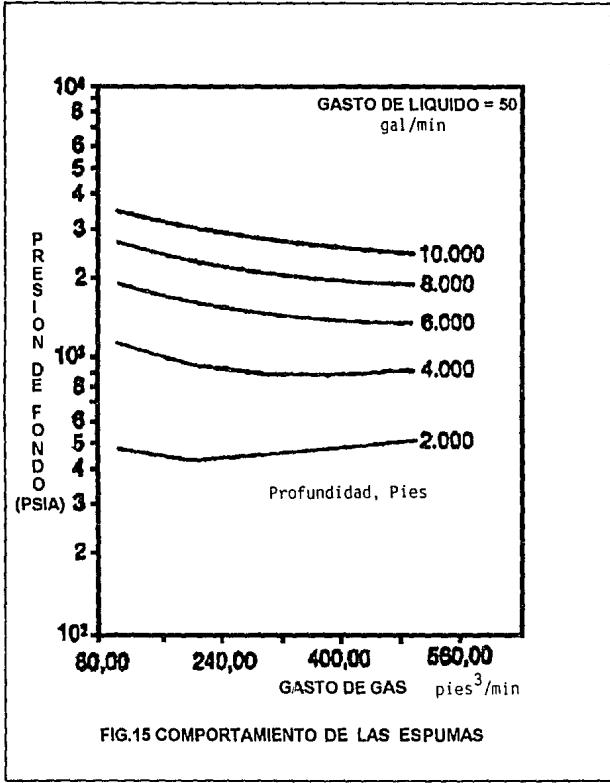


FIG.14 COMPORTAMIENTO DE LAS ESPUMAS



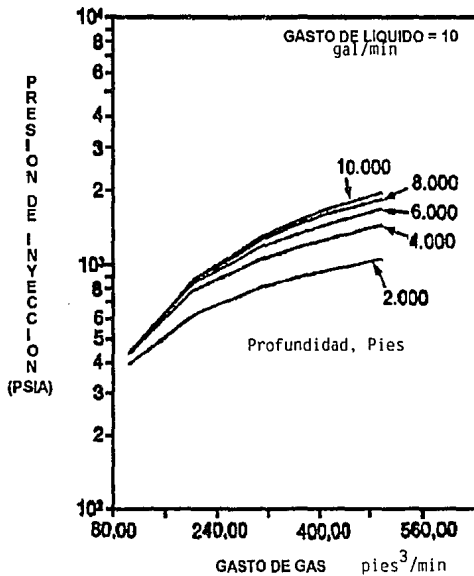
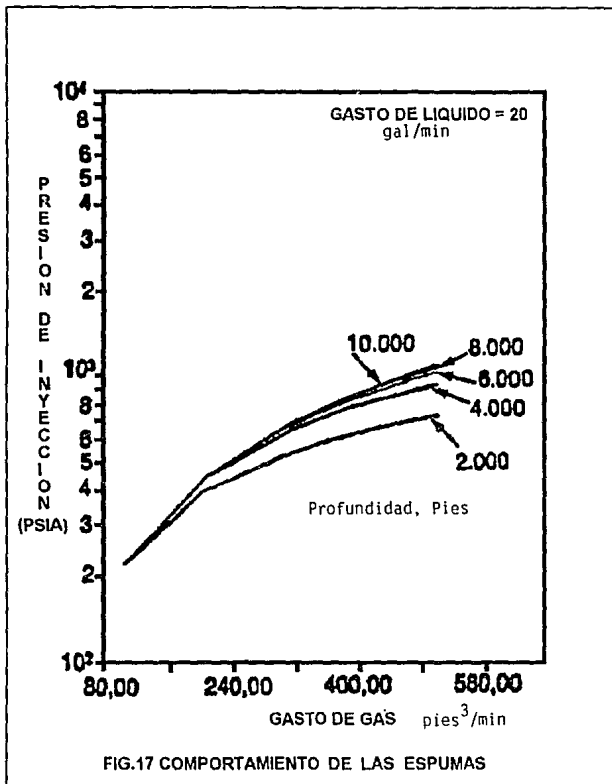
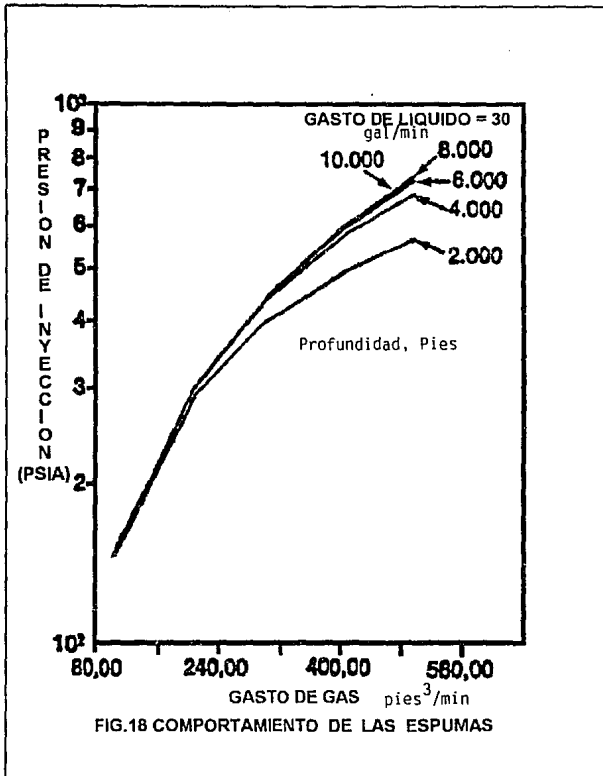
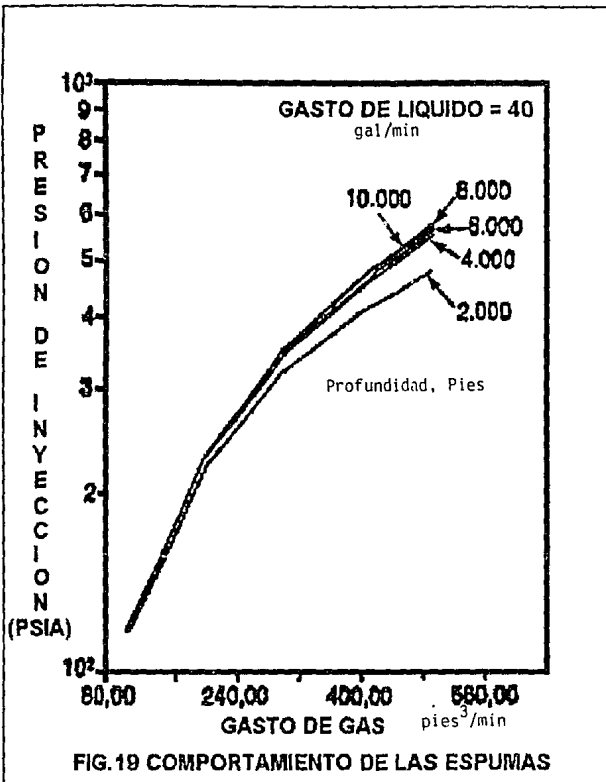


FIG.16 COMPORTAMIENTO DE LAS ESPUMAS







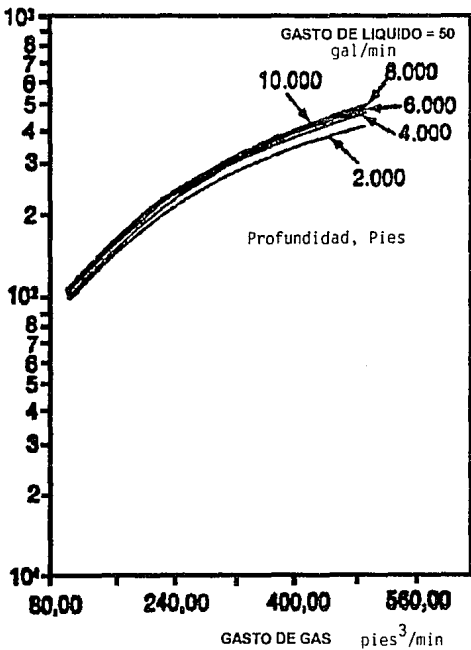


FIG.20 COMPORTAMIENTO DE LAS ESPUMAS

IV PERFORACION CON NIEBLA.

IV.1 Definición y Características.

La niebla está formada basicamente de aire, agua dulce y un agente tensoactivo. La fase continúa la constituye el aire o cualquier otro gas que se esté utilizando en la perforación y la fase dispersa la constituye el agua - agente tensoactivo en forma de pequeñísimas gotas.

Este sistema se utiliza cuando en la perforación con aire o gas se presentan formaciones con grandes cantidades de agua o cualquier otro fluido que reduzcan o imposibiliten la limpieza adecuada del pozo. La niebla inyectada dentro de la tubería de perforación pasa a través de las boquillas de la barrena donde la turbulencia del flujo da lugar a la formación de gran cantidad de burbujas de aire, dirigiéndose posteriormente hacia el espacio anular donde las burbujas resultadas reducen la densidad del agua producida permitiendo levantarla junto con los cortes hacia la superficie. Por sus características ofrece las mismas ventajas que la espuma pero no es tan eficiente como ella.

Las condiciones que gobiernan la cantidad de agua y de agente tensoactivo para la preparación de la solución son: el tipo de formación a perforar, profundidad y diámetro del pozo, cantidad y tipo de agua que penetra al pozo.

IV.2 Control de la Corrosión.

El tipo de fluido producido por la zona de aportación es un factor muy importante debido primero al problema de corrosión por oxidación y segundo a la estabilidad del agente tensoactivo. La corrosión de la sarta de perforación aumenta conforme se incrementa la cantidad de agua presente en el espacio anular. Para resolver este tipo de problemas se inyecta cal y dicromato sódico dentro del sistema como inhibidor de corrosión y estabilizador respectivamente. La cal en solución proporciona protección contra la oxidación y el dicromato sódico es un inhibidor de corrosión y efectivo estabilizador cuando se anticipa la presencia de agua salada.

IV.3 Cuidados que se deben tener al Perforar con Niebla.

Debido a que este sistema se aplica cuando hay presencia de agua dentro del pozo, es necesario conocer los problemas que con mayor frecuencia se presentan por descuido en la operación del mismo.

1. Quizas el 75% de todos los problemas de la perforación son el resultado de la inyección de insuficiente gasto de aire.

2. Cuando la tubería se pega en un agujero húmedo la razón más frecuente es que el pozo no ha sido limpiado correctamente antes de efectuar una conexión. Cuando se presenta este problema un procedimiento recomendable es circular suficiente aire dentro del pozo hasta que la niebla aparezca sin corte en la descarga del pozo.

3. Formaciones deleznable y con presencia de cavernas ocasionadas por el derrumbe de dichas formaciones, causan problemas que limitan la operación satisfactoria de este sistema. Conforme se amplía el diámetro del pozo la velocidad del fluido en el espacio anular disminuye, con lo que se ve afectada en forma negativa la capacidad de levantamiento de la niebla, además, de que se hace la inyección de mayores gastos de aire para superar la velocidad de asentamiento de las partículas. La ausencia de cortes en la descarga y un aspecto lodoso de la niebla indican seguramente que el pozo se está agrandando.

De acuerdo a lo anterior se toman las siguientes medidas:

a) Tratar de secar el pozo en forma adecuada.

b) Un incremento en la concentración de agente tensoactivo proporciona mayor consistencia a la niebla, lo que se traduce en un incremento en su capacidad de acarreo.

c) Incrementando el ritmo de inyección de la solución se incrementa la capacidad de acarreo de la mezcla, debe ajustarse también el ritmo de inyección de aire con el fin de optimizar la eficiencia del sistema.

- d) Inyectar un inhibidor de corrosión.
- e) Limpiar en forma adecuada el pozo antes de efectuar una conexión.

IV.4 Gastos y Presiones requeridas.

Este sistema comparado con la perforación con aire requiere de la circulación de gastos más elevados, de un 30% a un 40% más de aire, y se debe a tres razones básicas:

- a) La columna de aire en el espacio anular es más pesada debido a la presencia del agua que tiene que ser levantada.
- b) La limpieza del pozo debe ser eficiente.
- c) Debido a la humedad algunos cortes se aglutinan y se requiere mayor gasto de aire para superar la velocidad de asentamiento de partículas de mayor tamaño.

Las presiones con que normalmente se trabaja cuando se perfora solamente con la ayuda de aire o gas son de alrededor de 15 Kg/cm^2 , pero en perforación con niebla se requiere de 30 Kg/cm^2 o más, de acuerdo esencialmente a la cantidad de agua que fluye de las formaciones hacia el pozo.

V PERFORACION CON LODO AEREADO.

V.1 Definición y Características.

El término lodo aereado, se refiere a cualquier sistema de perforación en el que se inyecta a presión un cierto tipo de gas al lodo normal de circulación.

El lodo aereado se emplea cuando grandes cantidades de agua, es decir, más agua de la que puede manejarse con agentes espumantes entran al pozo que se está perforando con aire o cuando existe un problema de pérdida de circulación. El lodo aereado puede usarse también cuando se perfora a través de formaciones de caliza coralina o de caliza cavernosa en situaciones que se hace imposible la circulación con lodo normal.

Se considera que con este sistema se incrementa el ritmo de penetración en un rango de 100% a 150% y aumenta la vida de la barrena en un 50% en comparación con los lodos convencionales.

Se considera lodo aereado aquel que posee una densidad menor o igual a 0.90 g/cc. Debe tratarse que la mezcla lodo - aire se logre en forma estable y homogénea, que no se rompa ni se separe dentro del pozo si no hasta su retorno a la superficie.

La cantidad de aire requerida para el lodo aereado de perforación depende principalmente de la reducción deseada de la densidad de la mezcla.

V.2 Ventajas de la Perforación con Lodo Aereado.

La perforación con lodo aereado presenta las siguientes ventajas sobre la perforación con aire o gas:

1. Zonas de agua a baja presión pueden ser perforadas con lodo aereado.
2. Ofrece mayor seguridad para problemas de descontrol. Si es necesario puede aumentarse rápidamente la densidad del fluido, con sólo cerrar el suministro de aire.

3. Los riesgos de fuegos y explosiones dentro del pozo son disminuidos por la presencia del agua en la mezcla.
4. Se obtienen pozos menos desviados.
5. Se pueden obtener muestras de núcleos fácilmente.

V.3 Control de la Corrosión.

Cuando dentro del pozo se tiene agua y aire a la vez, se presenta un problema muy serio de corrosión por oxidación en la sarta de perforación. Para disminuir este problema se tiene que tener un fluido aerado con PH mayor a 10 y agua saturada con cal.

V.4 Cuidado que se debe tener para aplicar este sistema.

Para la aplicación de este sistema, cuando ha ocurrido pérdidas de circulación, es necesario revisar los siguientes puntos:

1. Debe conocerse la densidad del fluido de perforación para efectos del cálculo del gasto de aire requerido en el sistema de lodo aerado.
2. Es conveniente considerar la máxima profundidad a la que está colocada la última tubería de revestimiento, para evitar problemas de derrumbes, pegadura de la tubería de perforación o entrada de agua.

Debe procurarse tener de 50 a 100 metros de agujero descubierto como máximo, debido a la turbulencia del flujo; cabe mencionar que este rango es sólo aproximado y la longitud real depende totalmente de las características de la formación sin revestir.

3. El nivel estático del fluido en el espacio anular puede ser conocido utilizando cualquiera de los métodos establecidos. Conociendo la ubicación del nivel estático del fluido en el espacio anular cuando ha ocurrido la

pérdida, la densidad del fluido de perforación normal y en forma aproximada la profundidad de la zona de pérdida, se puede calcular la densidad necesaria para detener la pérdida. Esto permite calcular el gasto de aire requerido. Las pérdidas muy severas se combaten con densidades hasta de 0.70 g/cc.

4. El tipo de formaciones expuestas dentro del pozo ayudará a determinar las propiedades necesarias del fluido. En la mayoría de los casos, la misma viscosidad, pérdida de agua y enjarre se mantienen después de la aereación.

5. Es necesario saber cuanto falta para terminar el pozo para planes futuros en el programa de tuberías de revestimiento. En algunos casos el lodo aereado se utiliza sólo para perforar un tramo limitado y después se coloca una T.R.

V.5 Métodos usados en la Perforación con Lodo Aereado.

Para realizar una operación con este sistema se emplean principalmente tres métodos básicos en la aereación del lodo:

- a) Método de aereación en la superficie.
- b) Método de tubería concéntrica.
- c) Método de tubería parásita.

La elección de uno de los tres métodos debe hacerse después de un estricto análisis en el que se comparen costos, ventajas y tiempo de acondicionamiento de cada sistema. El primer método por su características es el de menor costo y requiere para su aplicación de muy poco tiempo y es el que con mayor frecuencia se usa. Los otros métodos presentan mayores dificultades para su aplicación ya que requieren de inversiones muy fuertes para la compra o renta del equipo, mayor tiempo para su implantación y su aplicación puede hacerse únicamente en áreas perfectamente conocidas donde puedan aprovecharse posteriormente los equipos especiales. Por lo anterior, estos sistemas se

deben descartar en la perforación exploratoria.

a) Método de aereación en la superficie.

Para utilizar este método se agrega cierto equipo auxiliar al normalmente utilizado.

El aire se inyecta al sistema de circulación entre la bomba de lodo y el tubo vertical. La relación aire - lodo puede ser controlada incrementando o reduciendo el gasto de cada fluido.

La figura 21 muestra un diagrama de la distribución del equipo superficial en el que una mezcla de lodo y gas natural sustituye al fluido de perforación convencional. El lodo se saca de la presa con la bomba de circulación y en un punto dado se mezcla con un gas proveniente del compresor a una presión ligeramente mayor, posteriormente se dirige hacia el tubo vertical, unión giratoria, flecha, etc., hasta el fondo del pozo y retorna por el espacio anular a la superficie.

La introducción de aire y lodo dentro de la sarta de perforación requiere equipo por separado para cada fase. El equipo para la fase líquida es el mismo que para perforación convencional, para la fase gaseosa el equipo es el siguiente:

Un compresor de tres o cuatro etapas, 220 HP y presión de trabajo máxima de 100 Kg/cm^2 , el flujo de aire del compresor hacia el tubo vertical es controlado sobre el piso del equipo, abriendo o cerrando una válvula sobre la línea de aire. Dos válvulas de retención se colocan en la línea de aire antes del tubo vertical, para evitar el regreso del aire a las compresoras o que el lodo se dirija a ellas. Una válvula de retención se coloca en la tubería de perforación justamente debajo del nivel de la superficie con el propósito de contener el fluido comprimido dentro de la tubería de perforación y prevenir el regreso del flujo durante las conexiones. Un cabezal rotatorio para mantener un sello constante alrededor de la tubería de perforación, y por seguridad cuando se perforan formaciones con

contenido de gas. Una tubería de descarga muy grande y un desgasificador.

b) Método de tubería concéntrica.

Este método es similar al sistema de inyección simple utilizado en las instalaciones de bombeo neumático para pozos en producción. El aire comprimido se inyecta por el interior del espacio anular comprendido entre las dos tuberías concéntricas y se mezcla a cierta profundidad con la corriente de lodo proveniente del fondo del pozo. De tal manera, puede notarse que la mezcla lodo - aire existe solamente en el espacio anular arriba del punto de inyección.

En la figura 22 se muestra el equipo superficial que debe adicionarse al convencional y la figura 22a muestra las conexiones en la sarta doble. El equipo que usualmente se adiciona es un compresor de aire, equipo de sarta doble que incluye: tubería doble, unión giratoria doble y flecha de perforación doble. Conexiones y válvulas adicionales.

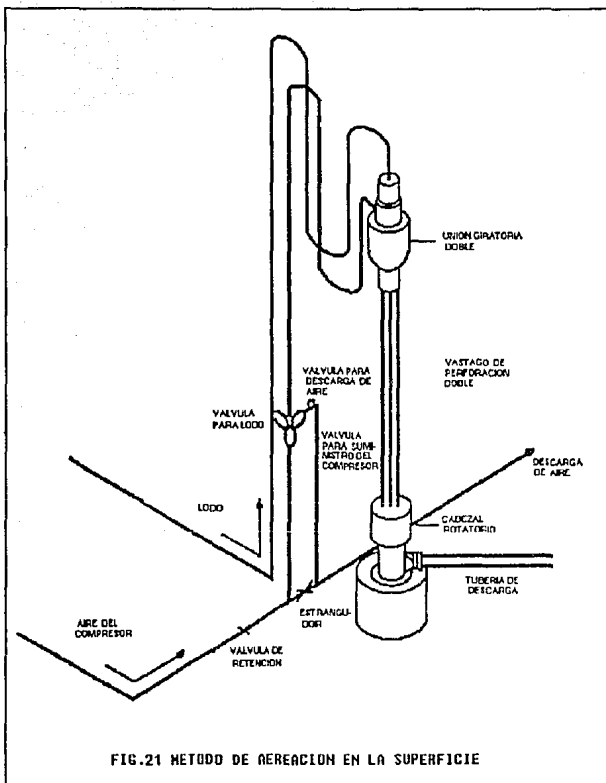
La figura 22a muestra como se inyecta el aire por dentro de la tubería de menor diámetro o por el espacio anular existente entre las dos tuberías de la sarta doble; en cada caso, debe colocarse una válvula de retención en la tubería que conduzca al aire. Cuando el aire se introduce a través de la tubería interior debe colocarse un tapón recuperable abajo de los puntos de inyección.

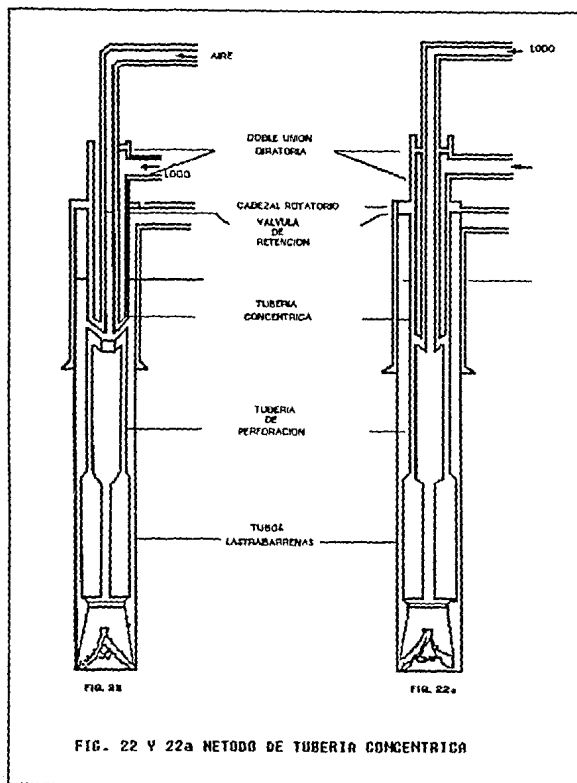
c) Método de tubería parásita.

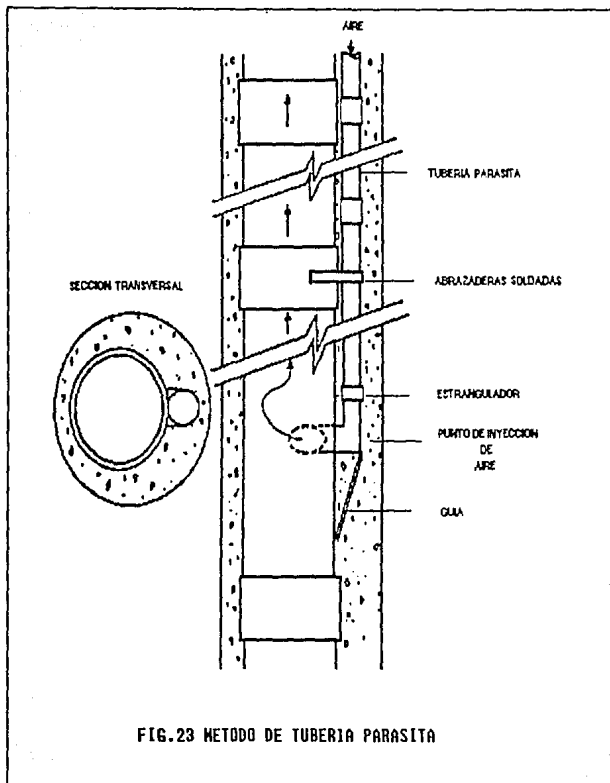
Con la tubería parásita se logra una disminución en la presión hidrostática de la columna de lodo, evitando o disminuyendo pérdidas de circulación. Ver figuras 23 y 24.

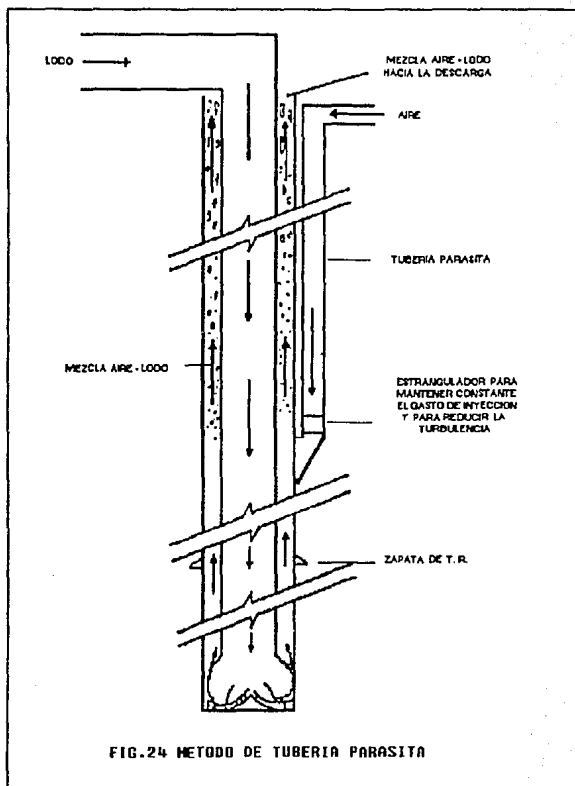
La operación consiste en adherir una tubería de diámetro pequeño (2 a 3 pulgadas) a una de las tuberías de revestimiento intermedias por medio de abrazaderas prefabricadas. Se inyecta el aire por medio de la tubería pequeña al espacio anular existente entre las tuberías de

revestimiento y de perforación. La profundidad del punto de inyección de tubería parásita está determinada por la máxima reducción en la presión para disminuir las pérdidas de circulación. La reducción usada es una función de la profundidad de la tubería parásita, de la relación de los gastos aire - lodo y de la densidad del lodo.









VI ADITIVOS QUIMICOS BASICOS Y EQUIPOS EMPLEADOS EN LA PERFORACION CON FLUIDOS NEUMATICOS.

En la actualidad los productos químicos usados comunmente en la perforación con fluidos neumáticos son:

1. Espumantes.

Quando se está perforando y se encuentra agua, es necesario el uso de un dispersante para limpiar la barrena, la columna de perforación y el pozo, si esto no se hace inmediatamente, la humedad y las partículas formaran un lodo viscoso que ocasionará atascamiento en la columna de perforación. Para combatir este problema, se inyecta en la corriente del fluido un detergente simple o una mezcla de espumante y agua.

El espumante o detergente hace una mezcla homogénea que tiene amplia consistencia para sacar el agua del pozo y las partículas, limpiando así la barrena y el pozo.

2. Inhibidor de corrosión.

Durante la perforación con estos sistemas, si hay bióxido de carbono u oxígeno el tubo de perforación se corroerá, a menos que esté protegido por una capa química protectora. El sulfato de hidrógeno también corroe el tubo de perforación si no está protegido.

Deberá agregarse una mezcla protectora con el espumante y/o lodo aerado, constituida por 1/4 a 1/2 lb/bl de inhibidor y de 2 a 4 lb/bl de cal, con concentraciones más fuertes si existe sulfato de hidrógeno, o agua salada.

3. Secantes.

Un pozo perforado con aire que esté húmedo puede secarse circulando aire; sin embargo, puede ser más económico agregar un secante. Los agentes químicos en uso actualmente son los polvos de silicatos que absorben agua y requieren un inyector químico seco. Hasta ahora, lo mejor parece ser agregar un cartucho de 20 a 40 lbs, al encontrar humedad. Cuando la formación gotee un poco, puede agregarse un tratamiento constante pequeño.

4. Lubricante.

Un lubricante para la perforación con aire es el grafito, material generalmente seleccionado.

Equipos Empleados en la Perforación con Fluidos Neumáticos

En la perforación con aire o gas, espumas, etc., es necesario instalar equipo adicional al que se encuentra normalmente en las instalaciones del pozo, el equipo consiste en:

- 1 Compresores
 - 2 Cabezal rotatorio
 - 3 Tubería de descarga
Boquilla primaria y secundaria
Desempolvador
Muestreador
Instalación para detectar gas
Quemador
 - 4 Bomba dosificadora de espumantes
 - 5 Válvulas de retención
 - 6 Medidor de flujo
 - 7 Alarma de presión
 - 8 Tanques
 - 9 Generador de espuma
 - 10 Desgasificador
 - 11 Fosa para desperdicios
-
1. Compresores

Los compresores son necesarios para suministrar los gastos requeridos por el sistema de circulación. La capacidad de los compresores está determinada por las necesidades de gasto y presión para el rendimiento adecuado del sistema.

En la selección del equipo de compresores de aire, deberá tenerse en cuenta el programa de perforación, diámetros de tuberías, y especialmente los acuíferos que se esperan tener, para fijar la presión de trabajo y volumen

necesarios. Estos factores influyen de la siguiente manera:

a) Al fijar la profundidad debe darse un margen de seguridad para poder continuar ésta si fuera necesario, en caso de que el yacimiento productor no se encontrara a la profundidad prevista y se deseara seguir explorando a mayor profundidad.

b) Los diámetros: se escogerá el máximo espacio anular, entre el agujero y la tubería de perforación así como la mayor profundidad; puede verse en el cálculo de volúmenes necesarios de aire, que estos influyen notablemente. Conviene hacer el cálculo de gastos necesarios para cada uno de los diámetros de agujeros a diferentes profundidades y seleccionar el mayor como mínimo.

c) Los problemas de agua y acuíferos determinan principalmente el rango mínimo de presiones de circulación necesarias.

Del estudio aislado de cada uno de estos factores se puede fijar un gasto o capacidad de los compresores así como la presión de trabajo de estos y a los datos obtenidos se tiene que agregar un porcentaje de seguridad que variará con el tipo de datos conocido, especialmente en el caso de problemas de formaciones húmedas y/o acuíferos, así como cualquier desperfecto que pudiera sufrir parte del equipo de compresores por condiciones especiales de trabajo. Debe de entenderse por formaciones húmedas, aquellos acuíferos localizados en una zona de muy baja permeabilidad que no fluyen pero causan problemas en este tipo de perforación.

El número de compresores dependerá del gasto y presión del aire que se circulará en el pozo, además de la capacidad de cada compresor: por lo general se utilizan tres unidades conectados en paralelo, recíprocos, de doble acción, desplazamiento positivo, de dos a cuatro etapas de compresión, con gastos de trabajo del orden de $350 \text{ m}^3 / \text{min}$ y una presión de descarga máxima de alrededor de 20 Kg/cm^2 en cada compresor.

Los compresores deberán colocarse a una distancia máxima de más de 50 metros del pozo y en posición favorable

con respecto a los vientos dominantes, como se muestra en la figura 25. Para las espumas se necesitan compresores con capacidad de trabajo de 30 a 90 m³ /min y presiones de 10 a 75 Kg/cm², los valores promedios de los gastos de inyección son de 60 m³ /min y las presiones de operación de 20 Kg/cm², se utiliza solo un compresor y es del mismo tipo de los anteriores.

Para la niebla es exactamente igual a los compresores para aire y gas, excepto la mayor capacidad de compresión requerida. En ocasiones extremas la compresión requerida puede ser hasta de 50 Kg/cm². En el sistema de lodo aereado se utiliza un compresor de tres o cuatro etapas, 220 HP y presión de trabajo máxima de 100 Kg/cm².

Si las presiones de perforación exceden a las capacidades de presión de los compresores se necesitará un impulsor. El impulsor debe ser de un tamaño capaz de manejar todo el volumen de los compresores que se estén usando, el impulsor aumentará la presión de 300 a 1500 Lbs/pg² aproximadamente.

2. Cabezal rotatorio.

Se instala entre la mesa rotatoria y los preventores, con el fin de evitar que el polvo resultado de la perforación pase al piso del equipo perjudicando al personal o deteriore el equipo.

El cabezal rotatorio consiste de dos elementos principales, un elemento rotatorio el cual permite girar conjuntamente al sello de hule junto con la tubería. El elemento de hule mantiene un sello constante alrededor de la sarta de perforación a excepción de aquellas partes de gran diámetro, como barrenas, tubos lastrabarrenas y escariadores. Este mismo cabezal se usa para los otros sistemas de fluidos neumáticos.

3. Tubería de descarga

Esta tubería conduce a cierta distancia del pozo el polvo y fluido que salen del mismo y así evitar perjuicios al personal y al equipo. La longitud de la tubería de

descarga varía entre 50 y 60 metros; la orientación es de acuerdo a los vientos dominantes, además debe quedar en la parte contraria a los compresores.

Esta tubería deberá estar anclada y soldada en el cabezal del pozo y sujeta al terreno con soportes en equis para evitar movimientos bruscos cuando conduzca flujos grandes. Deberá ser lo más recta posible para evitar la erosión en las partes curvas. Sobre esta tubería se deben instalar los accesorios siguientes:

a) Boquillas primarias y secundarias.

Son utilizadas para suprimir el aire o gas del piso del equipo cuando se efectúan conexiones, al crear un vacío dentro de la tubería de perforación con ayuda de los compresores; se usan dos tipos: una instalada cerca del final de la tubería de descarga a la que se le llama primaria y es la que se utiliza regularmente. La secundaria localizada cerca del equipo, se utiliza solamente en caso de que falle la primera. Ver figura 26. Estas boquillas son operadas por una válvula que se encuentra en el múltiple de piso. Las medidas reales de campo han demostrado que la boquilla primaria debe estar situada a cuatro diámetros de tubo del final de la línea de descarga para mejores resultados. Por ejemplo, si se está usando una línea de descarga de 7 pulgadas de diámetro, la boquilla debe estar colocada a 28 pulgadas del final de la línea.

b) Desempolvador.

Hay diversos medios para el control del polvo, según el lugar.

• La más simple de las soluciones a este problema es esparcir agua a la salida de la tubería de descarga, esto disminuye grandemente las molestias causadas por el polvo. Este tipo de control, consiste de una línea de agua a la tubería de descarga, se bombea el agua con una reducción de tal manera que salga atomizada. Al unirse a la corriente de aire y polvo, las partículas de éste se humedecen evitando así que se dispersen. Es una solución económica, práctica y hasta cierto punto eficiente. Ver figura 27.

• Otro sistema también satisfactorio es el uso de un colector de polvo de tipo Cyclone, el diagrama esquemático está ilustrado en la figura 27a; consta de una entrada de 8 pulgadas, la cual se induce a formar un tipo de corriente helicoidal, en el fondo hay un recipiente en el cual se almacena el polvo descargándose posteriormente, y por la parte superior sale el aire limpio, con una cantidad insignificante de polvo. La corriente de aire con polvo entra al colector, donde hay un cambio de volumen (momentáneo), tomando la corriente forma de espiral, las partículas de polvo por tener una mayor masa son aceleradas y tienden a pegarse a las paredes del cuerpo del embudo, donde por el mismo efecto de la mayor densidad del polvo comparada con la del aire, se acumula parte de este polvo en las paredes resvalando debido a la gravedad, hacia el fondo del embudo donde es colectado, la corriente de aire continúa su curso por la parte superior que está unida a la línea de descarga.

En áreas remotas el desempolvador se utiliza sólo cuando el viento lleva el polvo hacia la plataforma o a los compresores. En áreas pobladas donde se puede contaminar con polvo, es necesario mantener el desempolvador constante. El desempolvador se construye fácilmente y se instala en la línea de descarga. El diseño de la figura 17 puede suprimir el polvo a una velocidad de penetración de más de 100 pies/hr (30.48 m/hr); al desempolvador también se le conoce como humedecedor.

c) Muestreador.

Permite el muestreo continuo de los cortes de perforación. El muestreador con doble válvula y con inclinación de 60 grados (figura 28) se instala sobre la tubería de descarga antes del humedecedor a una distancia equivalente de 7 a 10 veces el diámetro interior de la tubería. Este tipo de muestreo substituye totalmente y con algunas ventajas, al de canal, usado en perforación convencional, por obtenerse muestra original sin impregnación de agua.

El dispositivo para la recolección de muestras aunque muy simple, es eficiente y consiste en un niple soldado en

la parte inferior de la línea de descarga (figura 28a), se necesitan dos válvulas, generalmente este niple y válvulas son de 2 a 4 pulgadas y trabajan de la siguiente manera:

Se abren las dos válvulas para limpiar la trampa, se cierra la válvula No.2 permaneciendo la válvula No.1 abierta durante un tiempo necesario para que por gravedad los recortes se depositen en el fondo de la trampa hasta llenarse, se cierra la válvula No.1 y se extraen los recortes directamente abriendo la válvula No.2. Este muestreador permite la observación del polvo cuando el desempolvador se está utilizando, esto es muy útil puesto que puede indicarnos cuando existen condiciones problemáticas como humedad, agua o tubo de perforación atorado.

d) Instalación para detectar gas.

Esta unidad debe ser instalada sobre la tubería de descarga con el fin de detectar hasta pequeñas cantidades de gas que salgan del pozo.

e) Quemador.

Al final de la línea de descarga deberá existir un quemador para asegurar que todo el gas que pudiera presentarse en la corriente de aire sea eliminado. El quemador también es conocido como luz piloto.

La tubería de descarga para el sistema de espumas es simple o sea sin accesorios.

Para los lodos aireados se requiere de una tubería de dos cargas, de diámetro muy grande (aproximadamente 50 centímetros), de longitud suficiente para permitir la separación del aire y lodo, además para reducir la velocidad del flujo.

4. Bomba dosificadora de espumante.

Cuando en la perforación con aire se atraviesan formaciones que aportan agua, se hace necesario la inyección de agentes espumantes, lo que se logra con la

ayuda de estas bombas dosificadoras.

Para el sistema de espumas, esta bomba se requiere para inyectar la solución espumante hacia el generador de espuma. En perforación con niebla se usa la bomba para inyectar la solución agua - agente tensoactivo a la corriente de aire. Dicha bomba tiene capacidad para inyectar a un ritmo de 4 Lt/min a una presión de 15 Kg/cm².

5. Válvulas de retención.

Se utilizan dos: se instala una inmediatamente arriba de la barrena con el fin de prevenir cualquier entrada de fluido de la formación hacia el interior de la tubería de perforación y para evitar el depresionamiento del aire en el espacio anular. La otra válvula se instala cerca de la superficie, en el segundo o tercer tramo de tubería y tiene como objeto el de evitar que el aire o gas regrese cuando se efectúe una conexión.

6. Medidor de flujo.

Consiste básicamente de un orificio que se coloca a una distancia de la descarga del último codo de la línea de los compresores igual a 20 veces el diámetro interior de la línea de inyección. De esta manera se puede medir el gasto de aire o gas que se está inyectando al pozo.

Para el control de la calidad de la espuma es necesario la medición de los gastos de aire y solución espumante que se utilizan, esto se logra instalando un medidor de flujo de aire y un medidor para líquidos. El primero es un medidor de placa de orificio como el anterior, capaz de registrar gastos entre 30 y 100 m³/min y presiones de 10 a 70 Kg/cm² el medidor de líquidos deberá ser capaz de registrar gastos de 35 a 75 Lt/min con aproximaciones de 2 Lt/min.

7. Alarma de presión.

Esta alarma es colocada en el piso del equipo en un lugar visible, con señal audible o visible. Esta alarma indica incrementos en la presión de inyección de hasta 5

Kg/cm^2 que es cuando se considera la existencia de una situación anormal.

8. Tanques.

Para el sistema de fluido de espuma es necesario contar en el equipo con tres tanques metálicos con capacidad cada uno de 1.5 m^3 . En ellos se prepara la solución espumante, que consiste básicamente en agua dulce, aditivos y un determinado porcentaje de agente tensoactivo, el cual varía normalmente entre 0.25 a 1.0%.

9. Generador de espuma.

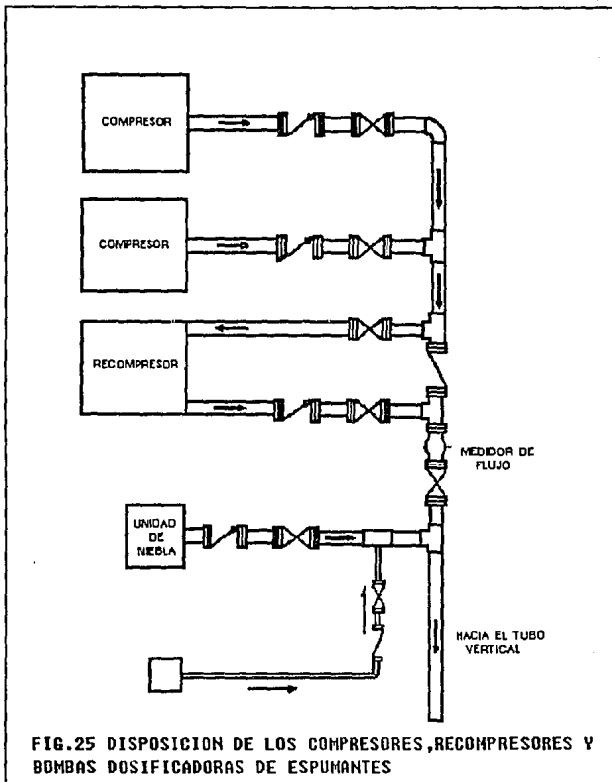
La espuma es creada en el generador de espuma, en el cual se mezcla íntimamente una solución espumante con aire o gas. Este dispositivo consiste de un recipiente con un tubo venturi para introducir la solución espumante y con una o varias entradas para el aire o gas. Para propiciar el mezclado está provisto de un empaque de arena clasificada malla 20/30, fibra de vidrio, acero u otro material de alta porosidad, y a la salida de una malla de acero con aberturas más pequeñas que el empaque anterior, malla 20/80. La turbulencia que se crea dentro del recipiente da lugar a la formación de la espuma. Ver figura 29.

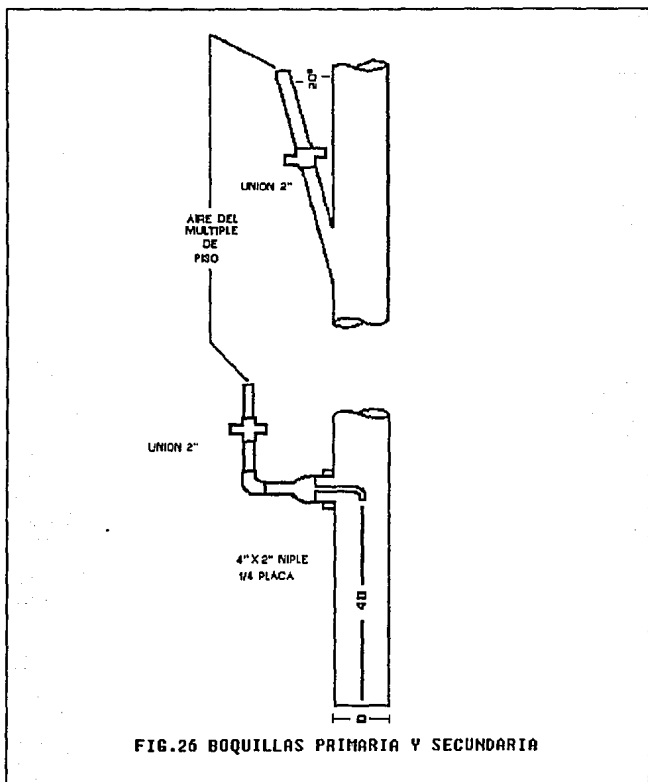
10. Desgasificador.

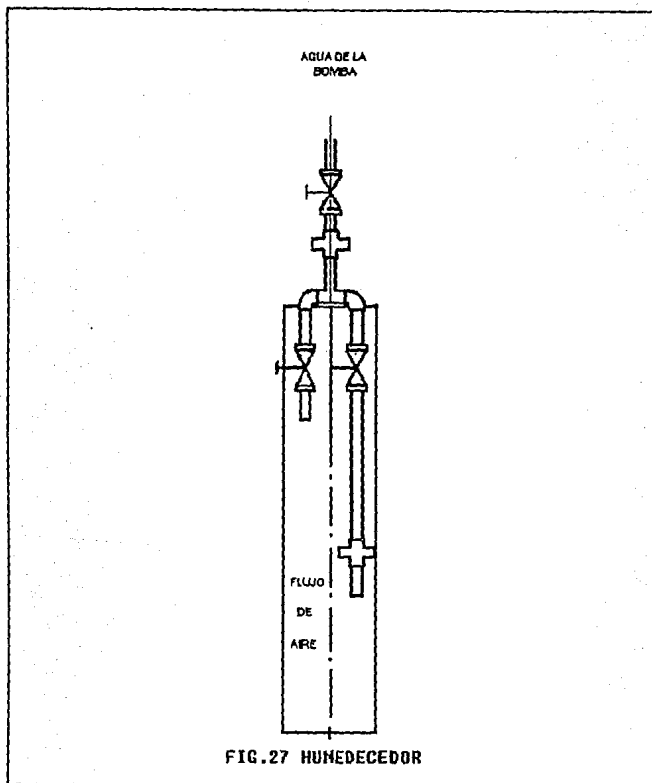
Se usa para lodos aereados y es necesario para separar totalmente la fase gaseosa del líquido, y su diseño es de acuerdo a las necesidades particulares de cada pozo.

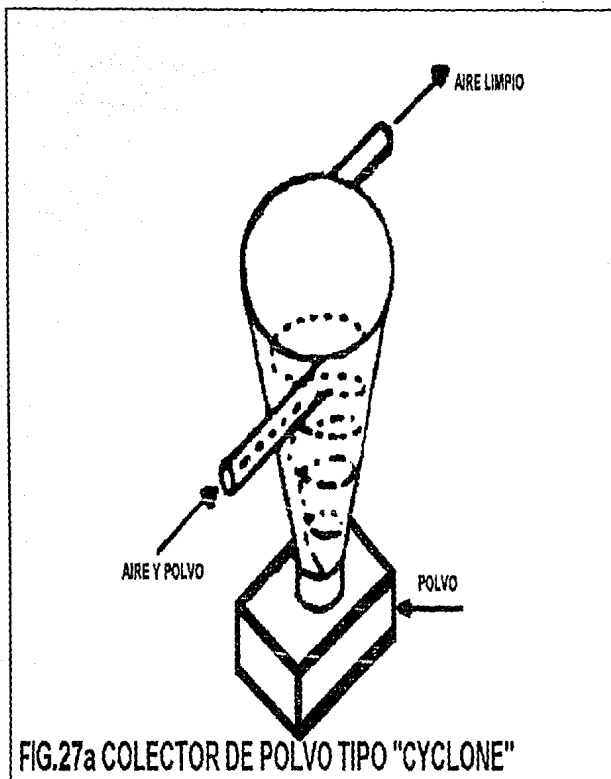
11. Fosa para desperdicios.

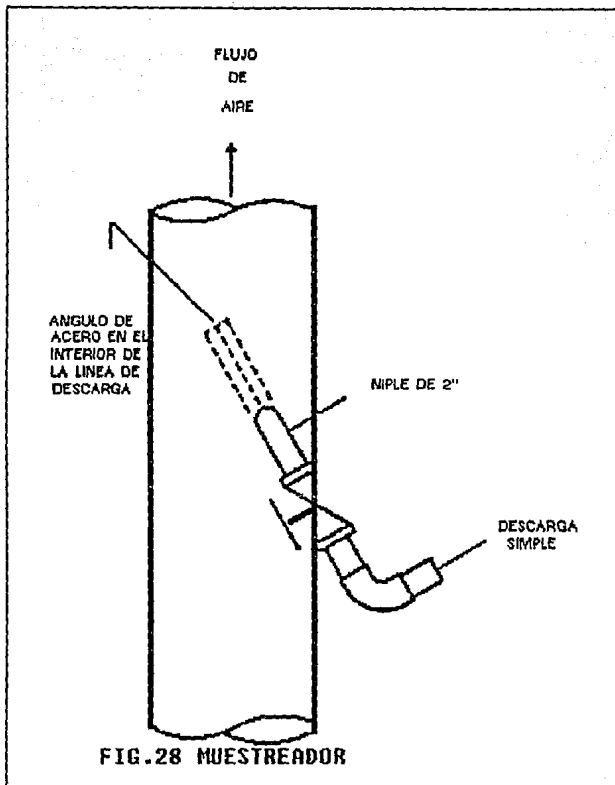
El ciclo de bombeo de la espuma es abierto, por lo tanto, la espuma que retorna no puede usarse nuevamente y debe desecharse en una fosa para su posterior degradación y desecho.

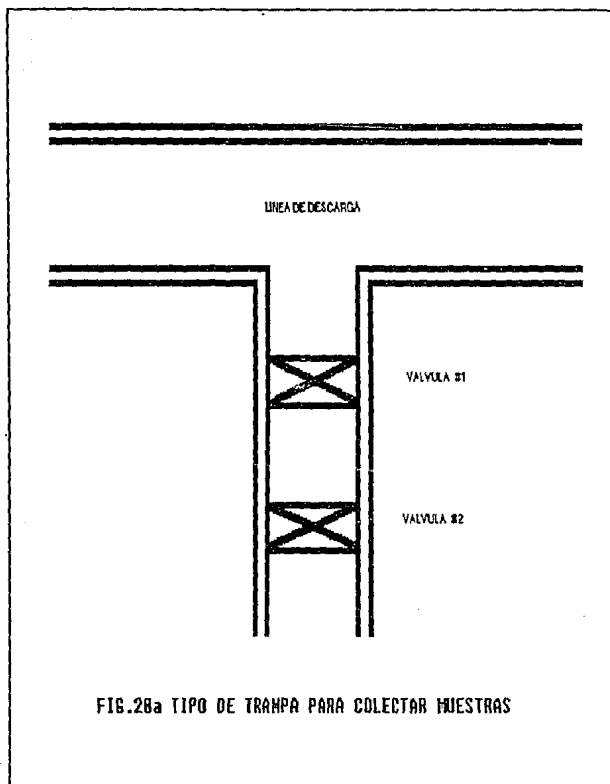


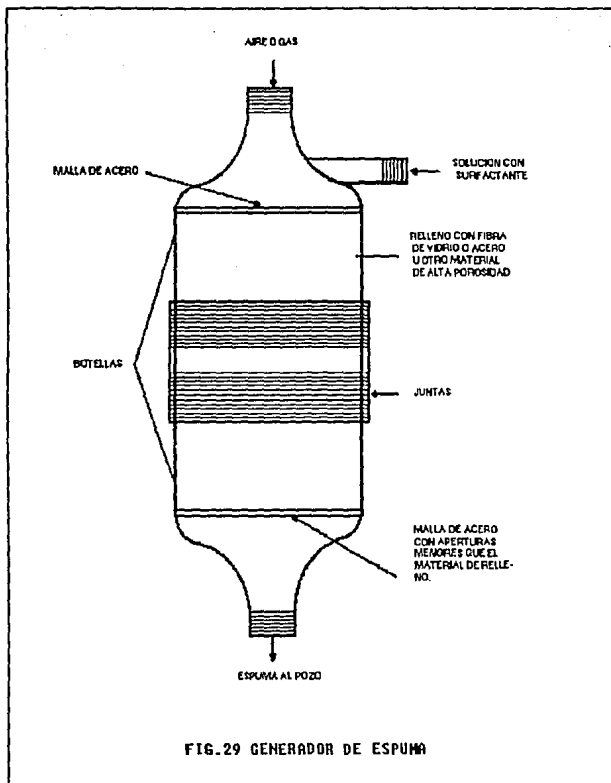












VII CALCULOS REQUERIDOS PARA CIRCULAR FLUIDOS NEUMATICOS.

Para aplicar fluidos neumáticos, el factor más importante a considerar en una operación de perforación es el volumen necesario para perforar eficientemente.

Uno de los fines que se persiguen en la perforación con aire y/o gas, o lodo como medio circulante, es alcanzar los promedios de perforación mayores, bajo pleno control, ya que juegan un papel importante en el costo operacional.

En este sistema de perforación con aire y/o gas, se alcanzan altos promedios, siempre y cuando se tengan seleccionados gastos adecuados de circulación que den una velocidad mínima necesaria para levantar totalmente los recortes. Esta última parte si no cumple su función especificada causará problemas variados como asentamientos, atorones, cabeceo que traen como consecuencia una pérdida en el tiempo de perforación aumentando los costos y en caso extremo hasta la pérdida del pozo. Por esto mismo es indispensable tener un criterio para seleccionar los gastos de circulación de aire.

VII.1 Requerimientos de Aire.

El volumen requerido de circulación de una perforación de aire y/o gas se regula por la velocidad anular necesaria para levantar los recortes.

Estas velocidades son tales que siempre existen flujos turbulentos, así la velocidad de resvalamiento de los recortes puede ser definida por la ecuación de Rittinger

o en su defecto por la ecuación de R. R. Angel:
Rittinger expresa que

$$V_{ts} = \left(\frac{4 (D_s - D_f) g d_c}{3 D_f C_d} \right)^{1/2} \quad (1)$$

Donde:

- V_{ts} = Velocidad turbulenta de resbalamiento (máxima caída libre) de una partícula sólida, en pie/seg.
 D_s = Densidad de la partícula, lb/pie³.
 D_f = Densidad del fluido, lb/pie³.
 g = 32.2 pie/seg².
 d_c = Diámetro de la partícula, pie.
 C_d = Coeficiente de fricción de la partícula en estudio, esta es una función esencial de la forma de la partícula a un alto número de Reynolds.

Para los objetivos aquí perseguidos, $D_s = D_f$. Para esferas, $C_d = 0.50$, por lo tanto la ec. 1 queda de la siguiente forma:

$$V_{ts} = \left(\frac{2.67 (d_c D_s)}{D_f} \right)^{1/2}, \text{ para esferas } (2)$$

Donde:

- d_c = Diámetro de la partícula, pg.

Gray evaluó C_d como 0.85 para granos de arenas y 1.40 para partículas planas tales como calizas y lutitas.

La densidad de un gas puede ser expresado en términos de la ley de los gases:

$$D_f = \frac{P M}{Z R T}$$

Para el aire: $M = 29$, $Z = 1$, en el rango de presiones y temperaturas encontradas comunmente en la perforación de aire y gas, $R = 10.7$ para $p = \text{lb/pg}^2$. y $T = \text{°Rankine}$.

Sustituyendo estos valores de la ec. (2), se tiene:

$$V_{ts} = \left(\frac{1.62 (dc Ds T)}{p} \right)^{1/2} \quad (3)$$

En la práctica, una regla general figura que la velocidad anular es de 2000 a 4000 pie/min, con un promedio de 3000 pie/min. Esta es adecuada para levantar recortes esféricos de 3/8 a 1/2 pulgadas a presiones y temperaturas bajas.

Varios métodos para calcular el volumen de aire y/o gas requeridos están en uso. El método desarrollado por R. R. Angel incluye la velocidad de perforación como un parámetro y será presentado aquí.

El volumen requerido se basa en gasto de circulación teniendo en poder de levantamiento equivalente a 3000 pie³/min de aire estándar.

La tabla de la figura 30 enlista los factores necesarios de los que se obtienen de soluciones calculados de la ecuación básica. El volumen del aire y/o gas estándar requerido en una instancia dada es:

$$Q_a = Q_0 + N D$$

Donde:

- Q_a = Volumen de aire requerido, pie³/min.
- Q_0 = Valor incorrecto de la figura 30, pie³/min.
- N = Factor de velocidad de perforación, figura 30.
- D = Profundidad del agujero en 1000 de pie.

VII.2 Requerimientos de Potencia.

La ecuación de potencia de la compresión adiabática de gases es usada comunmente para cálculos de compresión.

$$H_p = \frac{4.36 K Q \left(\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right)}{K - 1} \quad (4)$$

Donde:

- H_p = Potencia del compresor
- K = Calor específico del gas = 1.4 para aire, 1.3 para gas de bajo peso molecular.
- P_d = Presión de descarga, lb/pg².
- P_s = Presión de succión, lb/pg².
- Q = Volumen de aire medido a condiciones iniciales, miles pie³/min.

La presión de descarga en los compresores es por supuesto el depósito regulador o presión circulante requerida.

El cálculo de este valor para una columna de flujo compresible es un poco complicado y probablemente no valga la pena en la perforación de aire, debido a lo incierto como a la cantidad de agua que pueda ser encontrada. La figura 31 incluye tres curvas que ilustran este punto.

La curva 1 es la aproximada a la presión teórica para el aire seco circulante utilizando tubería de 4 1/2 de pulgadas en un 7 7/8 a 9 pulgadas, tomados de un artículo de J. O. Scott. Las curvas 2 y 3 son los equipamientos requeridos basados en la experiencia de la permian Basin reportado por Smith and Rollins, para condiciones secas y húmedas respectivamente. La distribución entre las curvas 2 y 3 es un rango incierto que depende de la cantidad de líquidos encontrados.

En la figura 32 se aprecia una curva que se utiliza

para corregir las condiciones de succión del compresor a una determinada altura y presión dada.

VII.3 Cálculo de Aire para el Lodo Aereado.

La figura 33 en condiciones normales permite hacer estimaciones en forma rápida y razonables.

La línea punteada es una solución simple para la cantidad de aire necesitado para aligerar la densidad del lodo de 8.5 a 6 lb/gal (1.02 a 0.7 gr/cc) a 5800 pies (1768 m) de profundidad y una temperatura promedio de 150 °F.

La presión de circulación requerida al bombear el lodo y por lo tanto el compresor de aire puede ser calculado por el método de Poettman y Carpenter si es necesario.

VII.4 Modelo Matemático para la Circulación de Espumas. ■

Dos estudios de ecuaciones son requeridas para un modelo de circulación de espumas, en pozos petroleros, uno para flujo de espuma corriente abajo en la tubería de producción o tubería de perforación y otra para corriente arriba en el espacio anular afuera de la tubería de producción o tubería de perforación.

Las ecuaciones fueron aplicadas directamente para el resvalamiento y un flujo plástico de Bingham de espuma en tuberías de producción o perforación, por medio de diferencias finitas.

El fluido plástico de Bingham de la espuma en el espacio anular concéntrico fue aproximado por la siguiente ecuación, para velocidad de un fluido plástico de Bingham en hendidura angosta de espesor t:

$$V = \frac{144 Tw [1 - 3/2 (Ty/Tw) + 1/2 (Ty/Tw)^3]}{\mu 6}$$

$$Tw \geq Ty$$

(1)

El espacio anular en los pozos probablemente no son concéntricos o uniformes en la perforación vertical del pozo, una leve desviación de una verdadera vertical causará que la tubería de producción o perforación se recargue sobre la pared de la tubería de revestimiento o del agujero.

La siguiente modificación de la ecuación (1) es por lo tanto usada para aproximar la velocidad de flujo en el espacio anular.

$$Vf = \frac{144 Dh [Tw - 3/2 Ty] (AEF)}{12 \mu}$$

$$Tw \geq 3/2 Ty \quad (2)$$

Donde:

- Dh = Diámetro hidráulico del espacio anular
- AEF = Factor de excentricidad anular reportado por Redberger y Charles para flujo laminar de fluidos newtonianos

$$= \frac{Vf \text{ en el espacio anular excéntrico}}{Vf \text{ en el espacio anular concéntrico}}$$
- Ty = Esfuerzo de corte de cedencia, psi
- Tw = Esfuerzo de corte en la pared de la tubería, psi
- μ = Viscosidad de Bingham, lbf - seg/pie².

■ ver referencia 4

VII.5 Razón de Compresión Y número de Etapas.

La razón de compresión (R) es igual al cociente de la presión de descarga y la presión de succión, ambas

absolutas, la cual en una etapa nunca deberá exceder de cuatro; si lo excede, el aire de descarga se calienta tanto que las válvulas de descarga empiezan a fallar rápidamente. Obviamente, el gas siempre deberá ser enfriado después de cuatro compresiones y cualquier aumento adicional llevado a cabo en otra etapa.

La necesidad de mantener la temperatura tan baja como sea posible exige un enfriador de gran capacidad, alta eficiencia del tipo del radiador.

En un pozo perforado con aire, la presión necesaria en diferentes momentos puede variar en una amplia gama. La presión de succión será de cero psi, y la presión de descarga puede llegar a 1200 psi, estos factores se deben de tomar muy en cuenta para determinar la razón de compresión y el número de etapas.

Mientras que la presión de succión es siempre cero psi, en el medidor de presión, la presión de succión absoluta varía con la altura.

La razón de compresión es:

$$R = \frac{\text{Presión de descarga (abs)}}{\text{Presión de succión (abs)}}$$

A la altura de 5500 piés con una presión máxima de 1200 psi requerida, se tiene:

$$R = \frac{1200 + 12}{0 + 12} = 101$$

El valor 12 se obtuvo de la gráfica 22. Como se puede apreciar el valor de R es mucho más grande que el apropiado en una etapa; obviamente, se necesita una compresora de etapas múltiples.

Cálculo del número de Etapas.

Suponga que la compresión se intenta en solo dos etapas, como muestra la figura 34. De esta figura tenemos:

$$\frac{P_i}{P_1} = \frac{P_2}{P_1} \rightarrow (P_i)^2 = P_1 P_2$$

$$P_i = [P_1 P_2]^{1/2}$$

$$R = \frac{P_i}{P_1} = (P_1 P_2 / P_1^2)^{.5}$$

$$R = (P_2 / P_1)^{.5} \quad (A)$$

Si se consideran tres etapas, la manera de cálculo es la siguiente. Figura 35.

De la figura anterior:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_2} = \frac{P_4}{P_3} \rightarrow \begin{aligned} (P_2)^2 &= P_1 P_3 \\ (P_3)^2 &= P_2 P_4 \end{aligned}$$

$$P_2 = (P_1 / P_3)^{.5} \quad (1)$$

$$P_3 = (P_2 / P_4)^{.5} \quad (2)$$

De la ecuación (1) y (2) se tiene:

$$(P_2 / P_4)^{.5} = (P_2)^2 / P_1$$

$$P_2 P_4 = [(P_2) / P_1]^2 = (P_2) / (P_1)^2$$

$$P_4 = (P_2) / (P_1)^3 \quad (3)$$

Dividiendo la ecuación (3) entre P_1 , se tiene:

$$P_4/P_1 = (P_2) / (P_1)^3 = (P_2/P_1)^3$$

$$P_2/P_1 = (P_4/P_1)^{1/3}$$

Luego:

$$R_3 = P_2/P_1 = (P_4/P_1)^{1/3} \quad (B)$$

De lo anterior se deduce:

$$P_2/P_1 = P_3/P_2 = P_4/P_3 = P_5/P_4 = P_i/P_m$$

$$R_i = (R_t)^{1/m} \quad (C)$$

Donde:

- m = No. de etapas
- R_t = Relación de la presión de succión y la presión de descarga.
- R_i = Relación de compresión dependiendo del No. de etapas.

VII.5.1 Efecto de la Temperatura.

Ya que es el calor lo que limita la razón de compresión se hace necesario predecir la temperatura producida por la compresión. El incremento en la temperatura depende directamente de la razón de compresión.

En términos generales, tres cantidades definen el estado de un gas: presión, volumen y temperatura. La deducción de la fórmula para calcular la temperatura de descarga si se conoce la temperatura de succión y la razón de compresión, está antecedita por una serie de procesos que se clasifican en isobáricos, isométricos y adiabáticos, de acuerdo a las condiciones bajo las cuales se realiza cada uno de ellos.

Es posible representar todos los procesos anteriores en uno solo que se denomina politrópico, que se representa por la ecuación:

$$P V^n = \text{Cte.}$$

Donde n es el índice politrópico que adquiere valores entre cero e infinito, figura 36.

Por lo tanto, para este caso en particular:

$$\begin{aligned} P_1 V_1^n &= P_2 V_2^n \\ (V_1/V_2)^n &= (P_2/P_1) \quad (1) \end{aligned}$$

Sustituyendo la ecuación (1) en la ecuación encontrada por Boyle Y Charles, la cual está dada por la siguiente relación:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2)$$

Al hacer la sustitución se obtiene la expresión:

$$T_2 = T_1 (Rc)^{n - 1/n} \quad (A)$$

Donde:

- T_1 = Temperatura de succión, ($^{\circ}K$ o $^{\circ}R$)
- T_2 = Temperatura de descarga, ($^{\circ}K$ o $^{\circ}R$)
- Rc = Razón de compresión
- n = Ritmo de calor específico

En resumen, la más completa información sobre el tamaño del compresor y selección puede ser establecida en la literatura de manufactura y manuales de Ingeniería. La selección del compresor para objetivos de perforación con aire ha sido discutida por Morris y Ramey.

El riesgo acompaña el uso del equipo que no reúne los requisitos para la perforación con aire. Actualmente la industria petrolera tiene a su disposición compresores de trabajo pesado, que reúne las características de la perforación con fluido neumático. Estos compresores tienen un diseño adecuado para este tipo de perforación, por lo tanto, trabajan confiablemente.

VII.6 Cálculo Gráfico de la Presión de Inyección y Gastos de Gas y Líquidos para el uso de Espumas.

El siguiente procedimiento por etapas clarifica el uso de las gráficas de las figuras 11 a la 20, y se estuvo empleando en el distrito de Poza Rica (Veracruz):

1. Establecer las restricciones de operación en cuanto a:
 - Máxima presión disponible en la fuente de gas
 - Mínimo gasto de líquido proporcionado por la bomba del equipo generador de espuma
 - Presión de fondo del pozo
 - Profundidad del nivel estático del pozo
 - Profundidad total a la que se planea llegar

2. Supónganse las siguientes restricciones:

Presión máxima: 500 lbs/pg².
Gasto mínimo: 40 gal/min.
Profundidad total: 7000 pies.
Presión de fondo: 1700 lbs/pg².
Nivel estático: 2900 pies.

La presión de inyección está limitada por la máxima presión disponible. El gasto de líquido es de 40 gal/min., y en la figura 19 se determina el gas utilizable, el gasto máximo es 440 pies³/min.

3. Ya establecido el gasto de gas permisible, en la figura 14 se determina el valor de la presión de fondo generada por la espuma y se compara con la presión de fondo del pozo. Para 440 pies³/min de gas se obtiene una presión de fondo aproximada de 1650 lbs/pg², menor que la presión de fondo del pozo.

Haciendo otro ensayo para 350 pies³/min de gas se obtiene una presión de fondo aproximada de 1800 lbs/pg². Se concluye pues, que el gasto de gas debe mantenerse a un valor promedio de 400 pies³/min durante los trabajos. Verificando este último valor, se obtiene aproximadamente la misma presión de fondo. Debe recordarse que, inicialmente, la presión de fondo generada por la espuma debe ser ligeramente mayor a la presión del pozo.

4. Determinados los gastos de operación y consultando nuevamente la figura 14, se construye el diagrama de presiones (figura 37) para calcular las profundidades de las etapas de circulación. La curva para la espuma se traza leyendo los valores de presión de fondo de las diferentes curvas de la figura 14, para el gasto de gas determinado. La curva del gradiente estático del pozo se traza con la presión de fondo y la profundidad del nivel.

5. Para determinar la primera etapa de circulación (figura 38) se parte del eje de presiones tomando un valor que no exceda 60% de la presión máxima superficial. Se traza una vertical hasta cortar la curva del gradiente del pozo, punto 1. La profundidad de esta primera etapa se define automáticamente al trazar una horizontal desde el punto 1

hacia el eje de profundidades.

Las etapas subsiguientes se determinan sucesivamente prolongando una horizontal hasta la curva del gradiente de la espuma, bajando hasta cortar la curva del gradiente del pozo (puntos 2 al 10). El procedimiento se continúa hasta la profundidad total.

6. Si por mantener alta calidad de la espuma en el fondo del pozo, o porque las restricciones así lo exijan, se obtiene que la presión de fondo generada por la espuma rebasa con mucho la presión de fondo del pozo, se recomienda corregir las profundidades de circulación tomando en cuenta un factor que, según la experiencia obtenida en Poza Rica, debe estar entre 30 y 60% de la presión máxima de inyección, según sea la densidad de los fluidos contenidos en el espacio anular (figura 39).

Normalmente la primera profundidad no debe corregirse, ya que en el espacio anular sólo hay una pequeña columna de fluido original del pozo; a diferencias de las demás etapas, donde debe considerarse un tirante adicional de espuma remanente en el espacio anular, que permanece en éste al suspenderse la circulación de la etapa anterior.

Este procedimiento no es invariable, especialmente en lo referente a factores de corrección y al cálculo del punto inicial para determinar las etapas de circulación. El plan puede variar dentro de parámetros razonables de acuerdo a la experiencia de los ingenieros de campo y siempre que las condiciones especiales de cada pozo así lo impongan.

Hole Size (in)	Pipe OD (in)	AIRE					GAS, PÉSO ESPECIFICO 0.6				
		Value of N					Value of N				
		Qo scf/min	Drilling Rate (ft/hr)				Qo scf/min	Drilling Rate (ft/hr)			
	0	30	60	90		0	30	60	90		
17 1/2	6 3/8	4.209	82.2	131	177	221	5.434	66.3	128	166	240
	5 1/2	4.428	79.8	126	171	213	5.716	61.8	119	174	226
	4 1/2	4.588	76.0	123	168	207	5.924	59.0	113	165	215
15	6 3/8	2.905	71.7	112	151	188	3.751	64.2	118	167	214
	5 1/2	3.124	68.7	107	143	178	4.033	58.6	108	154	197
	4 1/2	3.285	65.0	103	137	171	4.241	54.0	100	144	185
12 1/4	6 3/8	1.7	62.3	87.8	130	160	2.194	63.0	112	155	194
	5 1/2	1.918	58.0	88.5	119	146	2.477	56.3	97.7	137	172
	4 1/2	2.079	55.3	83.8	111	136	2.684	50.8	88.2	124	157
11	6 3/8	1.237	60.6	84.5	124	151	1.597	64.5	112	152	188
	5 1/2	1.458	54.8	83.8	110	135	1.88	55.5	95.4	131	163
	4 1/2	1.616	50.6	76.9	101	124	2.087	50.0	84.4	116	146
9 7/8	5 1/2	1.079	53.0	80.3	104	128	1.393	56.4	84.7	129	157
	5	1.163	50.3	75.5	98.7	120	1.502	52.3	87.7	119	147
	4 1/2	1.24	47.8	71.7	93.3	114	1.6	48.8	81.6	111	138
9	5	898	49.1	73.0	94.4	113	1.16	53.0	87.1	116	141
	4 1/2	975	48.1	68.5	88.5	107	1.258	49.0	80.3	108	132
	3 1/2	1.103	41.5	61.0	79.0	95.5	1.424	42.0	68.9	93.1	115
8 3/4	5	827	49.0	72.7	93.2	112	1.088	53.5	87.0	115	140
	4 1/2	903	46.0	67.8	87.3	105	1.168	49.1	80.0	107	130
	3 1/2	1.103	41.5	61.0	79.0	95.5	1.424	42.0	68.9	93.1	115
7 7/8	4 1/2	670	44.7	65.0	82.7	98.3	665	50.1	78.8	104	125
	3 1/2	798	39.2	58.7	72.5	86.9	1.031	41.6	66.3	87.8	107
	3 1/2	676	38.5	55.0	69.8	83.2	873	41.8	63.3	85.5	104
6 3/4	3 1/2	535	37.3	52.8	68.1	78.0	690	41.5	63.8	82.3	99.0
6 1/4	3 1/2	430	37.0	51.5	63.6	74.7	555	42.0	63.1	80.0	94.7
4 3/4	2 7/8	494	32.8	46.0	57.3	67.7	638	37.0	55.1	71.4	85.4
	2 3/8	229	31.6	41.3	49.5	56.5	298	37.0	51.3	62.6	72.2
		271	27.8	37.2	44.8	51.6	350	32.3	45.6	56.3	65.5

Datos para calcular aproximadamente el gasto de circulación requerido para producir una velocidad mínima en el espacio anular, el cual es equivalente en el poder de levantamiento a una velocidad estándar del aire de 3,000 pies/min.

FIG. 30

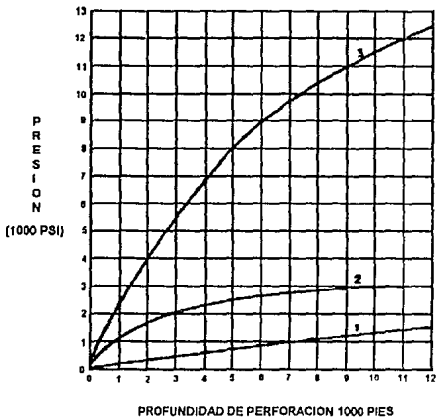


FIG.31 REQUERIMIENTOS DE PRESION DE CIRCULACION APROXIMADA PARA PERFORACION CON AIRE EN AGUJEROS DE 7 7/8 A 8 PG.

- (1) CURVA DE AIRE SECO TEORICA
- (2) EQUIPAMENTOS REQUERIDOS BASADOS EN LA EXPERIENCIA - CONDICIONES SECAS
- (3) EQUIPAMENTOS REQUERIDOS PARA CONDICIONES HOLIDAS

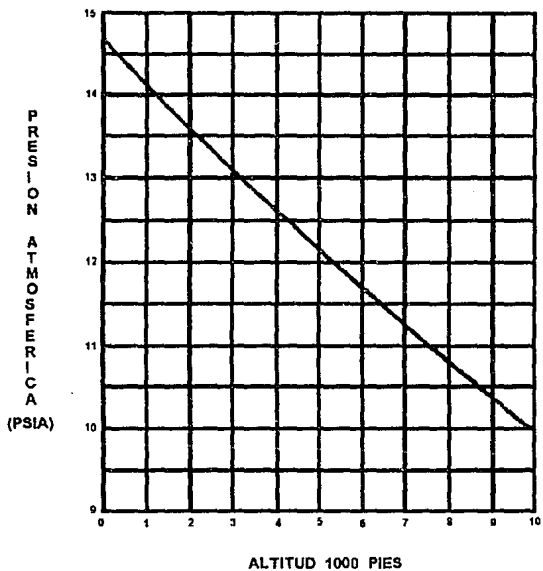


FIG.32 PRESION ATMOSFERICA VS. ELEVACION SOBRE EL NIVEL DEL MAR.

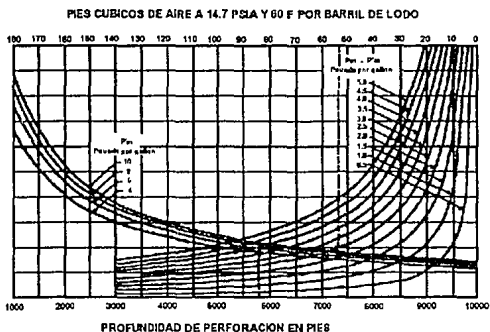


FIG.33 ESTIMACION DE VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO PARA AEREAR LODO DE PERFORACION, SEGUN POETTMANN Y BERGMAN.

FIG. 34

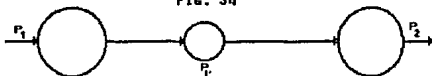
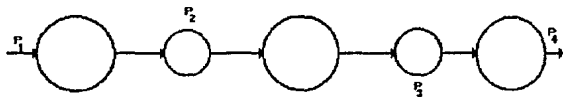
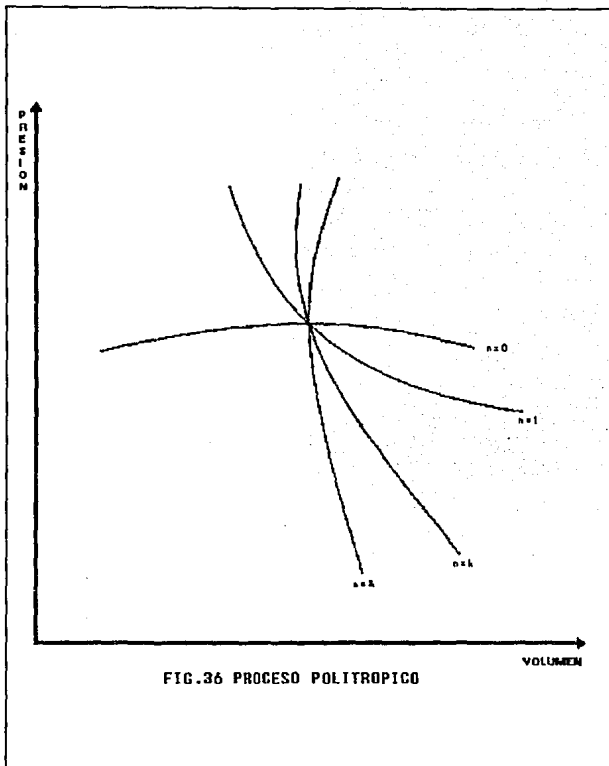


FIG. 35





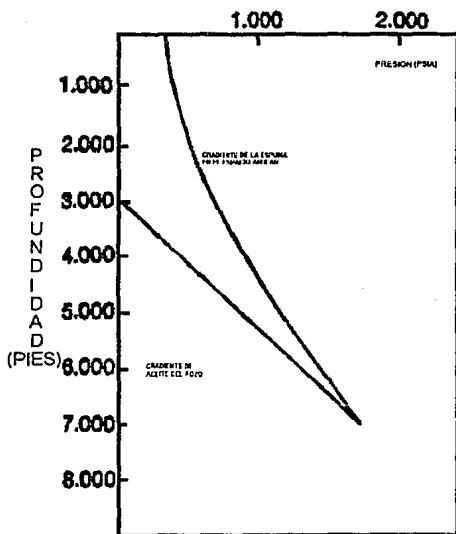


FIG.37 GRADIENTES DE PRESION

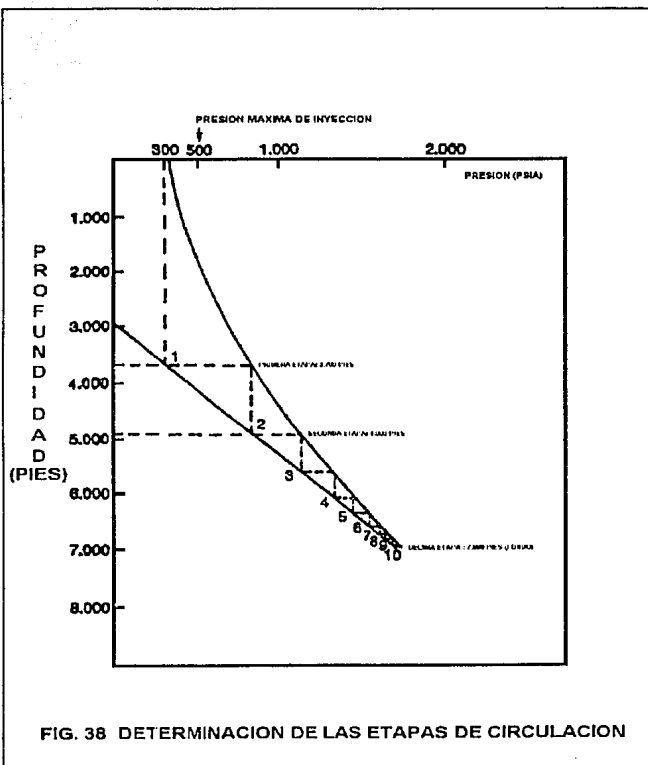
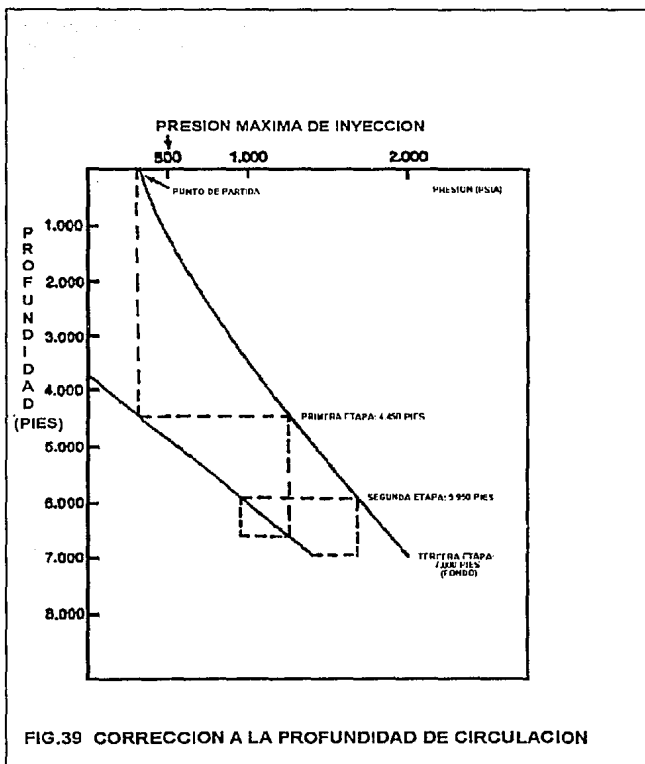


FIG. 38 DETERMINACION DE LAS ETAPAS DE CIRCULACION



CONCLUSIONES.

1. El aire es el elemento gaseoso más abundante, disponible y barato, razón por la cual se utiliza como fluido de circulación en la perforación de formaciones depresionadas.

2. Al lograr perforar con fluidos neumáticos que proveen un diferencial de presión mínimo, se consigue aumentar el ritmo de penetración, lo que reduce considerablemente los costos de perforación.

3. La mezcla de aire y líquido en diferentes proporciones cubren consecuentemente una serie de densidades intermedias que son posibles de obtener entre el aire puro y las inyecciones líquidas convencionales.

4. Con los mismos equipos y elementos (aire o gas) se puede pasar de un sistema de perforación con aire a un sistema de perforación con espuma, niebla o lodo aireado, y normalmente en la perforación de un pozo pueden utilizarse uno u otro de acuerdo a las necesidades y circunstancias que se van encontrando.

5. Las formaciones que ofrecen mayores problemas para la perforación con aire son las pocas consolidadas y blandas y las sobrepresionadas con tendencia a derrumbarse, especialmente cuando se encuentran intercaladas con capas productoras de agua que impiden la perforación con aire seco.

6. Al ser comprimidas, las espumas adquieren mayor densidad, de manera que combinando el efecto de una contrapresión en el cabezal del pozo y el aumento de densidad en la espuma, es posible generar presiones de fondo equivalentes a las que se obtienen con fluidos convencionales.

7. Con mayor viscosidad plástica y mayor punto de cedencia, las espumas exhiben mayor poder de suspensión o capacidad de acarreo.

BIBLIOGRAFIA

1. Magcoobar División. "Air Drilling Handbook". Agosto de 1976
2. Wenceslao Castellanos Pérez. "Fluidos de Perforación y su Control." Tesis de Licenciatura UNAM, 1980
Asesor: Miguel Angel Benitez Hernández.
3. Pedro Silva López, Vicente Casariego, Hector Leyva Torres. IMP. México.
"Usan Espumas para Rehabilitar Pozos." Petróleo Internacional, pág. 58 - 66. Agosto de 1980
4. Drilling, SPE. AIME. "Flow Behavior of Foam as Well Circulating Fluid", pág. 241 - 255.
5. Air and Gas Drilling Manual.
William C. Lyons.
Gulf Publishing Company.
6. Sistemas de Circulación. Unidad I. Lección 8, pág. 39 - 45. Editado por: PETEX, IMP, ARPEL. 1984
7. R.R. Angel. "Volumen Requeriments for Air or Gas Drilling." Transactions of AIME, Vol. 210, pág. 325. 1957
8. Salvador Segovia Mendoza. "Fluidos de Perforación de Baja Densidad para Pozos Petroleros." Tesis de Licenciatura. UNAM, 1983.
Asesor: Rosa de Jesús Hernández Alvarez.
9. Luis Urrutia R. "Perforación con Espuma - Agua Aereada en los Yacimientos agotados del Campo La Paz, Edo. Zulia (Venezuela). Maraven, S. A.
10. Fluidos de Control. Nivel 2.
Gerencia de Reparación y Terminación de Pozos.
PEMEX, IMP. México.

11. *Reparación de Pozos: Nivel 4.*
Gerencia de Reparación y Terminación de Pozos.
PEMEX, IMP. México.
12. *Luis Rabanaque. "Perforación de Pozos con Fluidos Aereados".* *Cia. de Perforación Río Colorado S.A.*
Argentina.
Petróleo Internacional, pág. 64 - 72. Agosto de 1982
13. *Rubén Duarte. "Perforación con Aire en Zonas de Pérdidas y Productivas de Baja Presión de Formación".*
YPF. Argentina.
IV Congreso Latinoamericano de Perforación.
14. *Clases de Fluidos de Perforación.*
Impartida en la Facultad de Ingeniería, UNAM. Por el Ing. Miguel A. Benitez Hernández.
15. *Clases de Laboratorio de Fluidos de Perforación.*
Impartida en la Facultad de Ingeniería, UNAM. Por la Quím. Rosa de J. Hernández Alvarez.